



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ELEKTRONIKA A ŘÍZENÍ CNC FRÉZKY

ELECTRONICS AND CNC MILLING MACHINE CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Tmej

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marada, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Tomáš Tmej**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Marada, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Elektronika a řízení CNC frézky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem elektrické části, jejím zprovozněním a vytvořením programu pro modelářskou hobby CNC frézku. Dále bude vytvořeno grafické rozhraní určené pro ovládání pomocí dotykového panelu. Bude použito prvků firmy Beckhoff.

Cíle diplomové práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky v oblasti elektroniky řízení CNC frézek.

Návrh a rozbor variant elektroniky frézky, zdůvodnění výběru varianty.

Zapojení elektrických obvodů frézky.

Vytvoření PLC programu pro řízení frézky.

Zprovoznění a naladění servopohonů pro jednotlivé osy.

Vytvoření vizualizace pro ovládání frézky.

Vytvoření podrobné výkresové dokumentace s komentářem.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

BORSKÝ, Václav. Obráběcí stroje. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 2. přeprac. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1991.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na návrh elektroniky hobby CNC frézky. V práci jsou rozebrány a popsány jednotlivé elektronické části a komponenty související s touto problematikou. Jsou provedeny tři návrhy elektroniky, vzájemně porovnány a z nich je následně vybrána jedna varianta. Tato varianta je zrealizována a vytvořen příslušný PLC program pro řízení CNC frézky s vizualizací pro snadné ovládání.

ABSTRACT

The diploma thesis focuses on the electronics design of a hobby CNC milling machine. There are analysed and described the individual electronic parts and components related to this problematic. Three electronics suggestions are made, these suggestions are compared. Then, one of these variants is selected and implemented. Next, is created a relevant PLC program to control the CNC milling machine with visualization for easy control.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beckhoff, TwinCAT 3, PLC, krokový motor, enkodér, vizualizace.

KEYWORDS

Beckhoff, TwinCAT 3, PLC, stepper motor, encoder, visualization.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TMEJ, Tomáš. *Elektronika a řízení CNC frézky*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124646>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Tomáš Marada.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Tomáši Maradovi Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení při vypracování této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Tomáše Maradi Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.6.2020

.....

Tmej Tomáš

OBSAH

1	ÚVOD.....	17
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY CNC STOJŮ.....	19
2.1	Vývojové stupně CNC strojů.....	19
2.1.1	Trendy vývoje CNC strojů	20
2.2	Základní struktura NC programů.....	20
2.3	Souřadnicový systém CNC stroje.....	21
2.4	Vztažné body v souřadnicové soustavě na CNC stroji	22
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	23
3.1	Popis funkce CNC řídicího systému.....	25
3.2	Provozní režimy CNC obráběcích strojů	25
4	HARDWARE CNC STROJŮ.....	27
4.1	Napájecí část	27
4.1.1	Přívodní vodič.....	27
4.1.2	Hlavní vypínač.....	28
4.1.3	Jištění.....	28
4.1.4	Vstupní filtry.....	28
4.1.5	Pomocné napájecí zdroje	28
4.2	Řídicí systémy.....	29
4.2.1	PLC (Programovatelný logický automat).....	29
4.2.2	Arduino	30
4.2.3	Raspberry PI	30
4.3	Ovladače motorů.....	31
4.3.1	Frekvenční měniče.....	31
4.3.2	Servozesilovače	32
4.3.3	Drivery krokových motorů	33
4.4	Elektrické pohony	34
4.4.1	Servomotory	35
4.4.2	Krokové motory.....	35
4.4.3	Krokové motory vs. Servomotory	36
4.5	Doplňková elektronická zařízení	37
4.5.1	Odměřování	37
4.5.2	Senzory	38
4.5.3	Komunikační rozhraní	38
4.5.4	Další.....	38
5	VARIANTY.....	39
5.1	Varianta A.....	39
5.2	Varianta B	42
5.3	Varianta C	43
5.4	Zhodnocení variant	44
6	POUŽITÉ ELEKTRONICKÉ PRVKY	47
6.1	Zdroje stejnosměrného napětí.....	47
6.1.1	24 V 1,3A	47
6.1.2	48 V	47
6.1.3	24V 20A	48
6.2	Ochrana.....	49

6.2.1	Jističe	49
6.2.2	Total Stop	50
6.2.3	Elektromagnetické relé	50
6.3	Řízení	51
6.3.1	Ethernet BK9100	51
6.3.2	Terminál KL9010	51
6.3.3	Terminál KL1408	52
6.3.4	Terminál KL2408	52
6.3.5	Terminál KL2541	53
6.3.6	Terminál KL4002	53
6.4	Joystick JC 400	54
6.5	Pohony SX23-2727	55
6.6	Enkodér E6B2-CWZ6C	56
6.6.1	Způsob zapojení	56
6.6.2	Princip činnosti	56
6.7	Frekvenční měnič FC-301	57
6.8	Vřeteno Atas FT4C52R	58
7	VLASTNÍ ŘEŠENÍ	59
7.1	Plošný spoj	59
7.2	Příprava komponent	59
7.2.1	Uchycení transformátoru	59
7.2.2	Spojka motoru	59
7.2.3	Výstup rozvaděče	59
7.3	Oprava jednoho PLC terminálu KL2541	60
7.4	Montáž rozvodné skříně	61
7.5	Zapojení	62
7.5.1	Digitální vstupy	63
7.5.2	Digitální výstupy	63
7.5.3	Analogové výstupy	63
7.5.4	Zapojení motorů	64
7.5.5	Zapojení vřetene	65
7.5.6	Zapojení joysticku	65
7.6	Nastavení	66
7.6.1	Bus Coupler	66
7.6.2	Nastavení karty KL2541	67
7.6.3	Frekvenční měnič	67
7.7	Motor + enkodér	69
7.8	Software	70
7.8.1	Vizualizace stroje (Visu Machine)	70
7.8.2	Dálkové ovládání (Remote control)	71
7.8.3	Úprava textu (Text editor)	71
7.8.4	Posunutí souřadnic (Set position)	71
7.8.5	Jdi do nové pozice (Go to)	71
7.8.6	Jdi do domácí pozice (Go to Home)	72
7.8.7	M/G	72
7.8.8	Nastavení (Setting)	72
7.8.9	Referencování (Axis ref.)	72
7.8.10	Manuální pohyb (Jog)	72
7.8.11	Nástroje	73
7.8.12	Pohony (Motors)	73

7.8.13 Vřeteno (Spindle)	73
7.8.14 NC – Program	74
7.8.15 Doplnky	74
7.9 Parametry	75
7.9.1 Nastavení PLC	75
7.9.2 Nastavení os	75
7.10 Výpočty	76
7.10.1 Oteplení rozvaděče	76
7.10.2 Řezná síla	77
7.10.3 Krouticího momentu motoru	78
8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE	81
9 ZÁVĚR	83
10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	85
11 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	89
11.1 Seznam tabulek	89
11.2 Seznam obrázků	89
12 SEZNAM PŘÍLOH	93

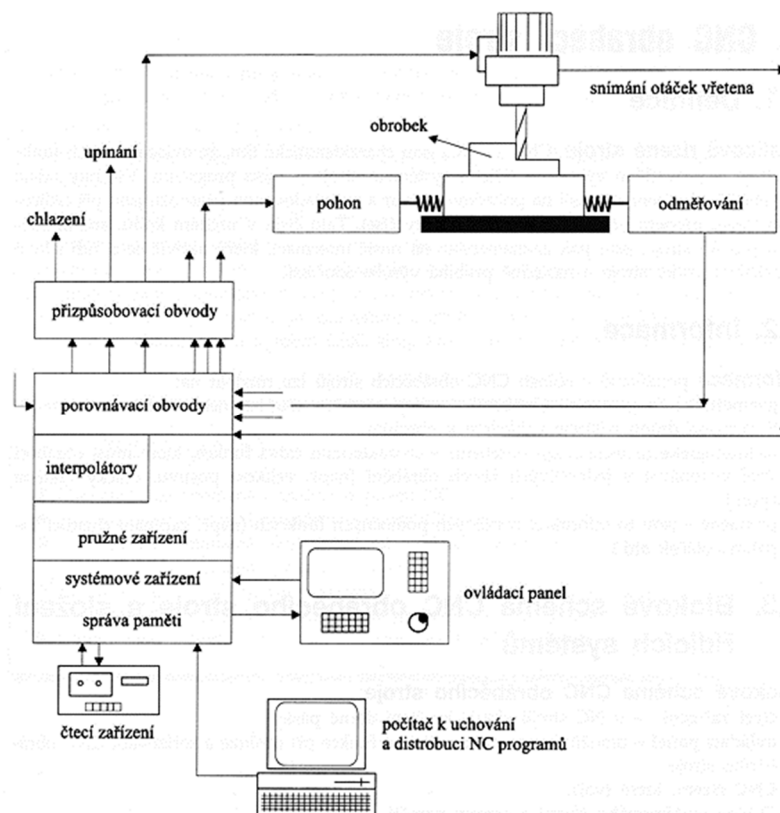
1 ÚVOD

Původem CNC strojů jsou klasické konvenční stroje, které mají i dnes stále své uplatnění v domácích i průmyslových procesech. Rozvojem elektroniky a výpočetní techniky se tyto konvenční stroje začaly doplňovat o motory a jednoduché řízení, z čehož vlivem vývoje vznikly samotné CNC stroje. CNC stroje se skládají ze třech základních částí (mechanická část, elektronická část a softwarová část), kdy se mechanická část omezila pouze na samotnou konstrukci bez různých převodových mechanismů a rozvodných hřídelí. Převodové mechanismy a rozvodné hřídele u konvenčních strojů zajišťovaly pohyby a ty byly nahrazeny elektronikou.

Číslicově řízené výrobní stroje (CNC) jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem stroje pomocí vytvořeného (NC) programu. Informace o požadovaných činnostech jsou zapsány v programu pomocí alfanumerických znaků. Vlastní program je dán posloupností oddělených skupin znaků, kterým říkáme bloky nebo věty. Stroje jsou „pružné“, lze je rychle přizpůsobit k jiné (obdobné) výrobě, pracují v automatickém cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením. Stroje CNC se uplatňují ve všech oblastech strojírenské výroby (obrábění, tváření, montážní, měřicí apod.). [2]

Tato práce se z počátku zabývá rozbořem jednotlivých elektronických částí CNC strojů, návrhem elektroniky hobby CNC frézky a vytvořením programu pro řízení průmyslového PLC firmy Beckhoff v programu TwinCAT 3.

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY CNC STOJŮ



Obr. 1) Obecné blokové schéma CNC obráběcího stroje [2]

2.1 Vývojové stupně CNC strojů

CNC stroje prošly v průběhu vývoje určitými vývojovými etapami, kterým také říkáme vývojové generace. Jejich vývoj můžeme rozdělit do čtyř vývojových generací:

Stroje 1. generace

Vycházejí ze základních koncepcí konvenčních strojů. Mechanická část zůstala zachována a byla doplněna řídicím systémem. Nositelem programu byla děrná páska, štítek nebo magnetická páska. Umožňují řízení v pravoúhlých cyklech. Spolehlivost a přesnost strojů byla nízká. Dnes se už nevyrábějí. [3]

Stroje 2. generace

Mechanická část těchto strojů je již upravena (revolverové hlavy, zásobníky nástrojů). Jsou vybaveny servosystémy. Umožňují řízení v obecných cyklech. [3]

Stroje 3. generace

Mají dále upravenou mechanickou část. K pohonu posuvů se používají kuličkové šrouby, jsou použity velkoobjemové zásobníky nástrojů řízené počítačem, pro zlepšení přesnosti je lože vybaveno kalenými lištami, jsou automatizovány i další funkce stroje. Jsou řízeny počítačem, který současně realizuje i další úkoly, jako například napojení stroje na systém dopravy nástrojů a obrobků. [3]

Stroje 4. generace

Předpokládá se adaptivní řízení celého výrobního procesu. Systém sleduje výstupy při obrábění (např. řezné síly, kvalitu povrchu), hodnoty se vyhodnocují a systém sám vyhledá takové řezné podmínky, které zaručí požadovaný průběh. U těchto strojů se předpokládá zavádění progresivnějších metod v konstrukci a využití strojů (např. uplatnění laserových paprsků zejména v měření, kontrole, řízení atd.). [3]

2.1.1 Trendy vývoje CNC strojů

Aktuální trend je docílit nejvyšších přesností a ekonomického provozu. Ekonomický provoz vede ke slučování více způsobů technologie obrábění do jednoho obráběcího stroje. Důvodem je snížení (odstranění) vedlejších časů, např. upínání na dalším stroji a zároveň zpřesnění výroby. Další integrace technologií do stroje vede až k univerzálním obráběcím centrům. [5]

Z ekonomického pohledu to tedy znamená:

- Zkrácení průběžné doby a zvýšení přesnosti práce.
- Snížení nákladů na výrobu (místo více strojů se pořizuje jeden – úspora výrobních ploch, úspory odpisových nákladů).
- Možnost snadněji automatizovat výrobu (stavba pružných linek – CIM).
- U strojů s technologií HSC je zvýšení produktivity uváděno pětinašobné v tomto poměru lze očekávat i ekonomické úspory (místo pěti strojů – jeden). [5]

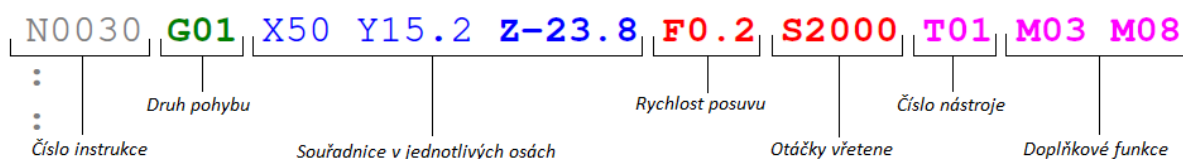
2.2 Základní struktura NC programů

Informace, které program obsahuje, lze rozdělit na následující druhy:

- **Geometrické:** Popisují dráhy. Informace o geometrii obrábění, popisují dráhu nástroje vůči obrobku. Udávají rozměry obrobků, posunutí ve směru jednotlivých souřadnicových os, vzdálenosti otvorů apod. (Funkce X, Y, Z, R,...).
- **Technologické:** Stanovují, jakým postupem vyrábět, jakými nástroji, jakou technologií obrábění z hlediska řezných podmínek (jsou to zejména otáčky nebo řezná rychlost, posuv, případně hloubka třísky).
- **Pomocné:** Jsou to informace, povely pro stroj, určené pro určité pomocné funkce (například zapnutí čerpadla chladicí kapaliny, otáčky vřetene, výměna nástroje atd.).
- **Informace pro organizaci programu:** Jsou nutné pro vyvolání posloupnosti bloků programu, např. číslo bloku, začátek a konec programu (Funkce N, M ...). [2, 3]

Struktura programu pro CNC stroj je mezinárodně normalizována. Program se skládá z instrukcí, které jsou složeny z jednotlivých slov. Skladba instrukce je následující:

- **N** – číslo instrukce
- **G** – druh pohybu (rychloposuv, kruhová interpolace souřadnice, korekce apod.)
- **X, Y, Z** – souřadnice cíle pohybu
- **F** – rychlost posuvu
- **S** – otáčky vřetena
- **T** – zvolený nástroj (číslo nástroje)
- **M** – doplňková funkce (výměna nástroje, přívod chladicí kapaliny apod.)



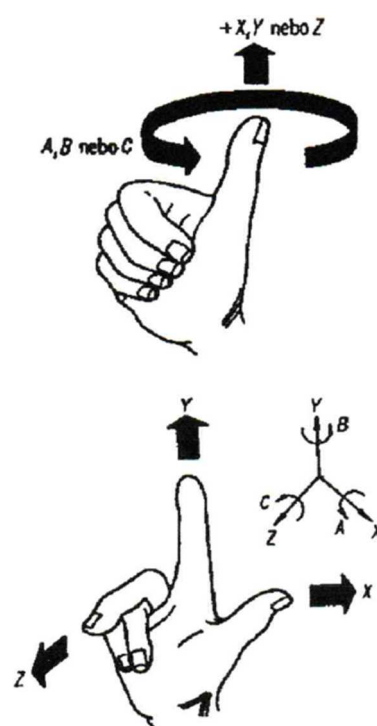
Obr. 2) Příklad struktury NC programu

Programovat lze v absolutních nebo relativních souřadnicích, tj. od nulového bodu (např. obrobku) nebo přírůstkově. Další méně používané varianty programování jsou pomocí polárních souřadnic nebo parametrické programování. Výrobci obráběcích strojů často programují určité typy cyklů, které pak uloží jako standardní funkce (měření, vrtací cykly apod.). [1, 5]

2.3 Souřadnicový systém CNC stroje

Výrobní stroje používají kartézský souřadnicový systém souřadnic. Definice je dána normou ČSN ISO 841 (Terminologie os a pohybů). Systém je pravotočivý, pravoúhlý s osami X, Y, Z. Otáčivé pohyby, jejichž osy jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, se označují A, B, C. Platí, že osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene a kladný směr jde z obrobku skrz vřeteno. [5]

Tím jsou určeny souřadnice pohybujícího se nástroje vzhledem k obrobku, přičemž kladný smysl pohybu způsobuje narůstání rozměru obrobku. To platí jak pro pohyby nástroje vzhledem ke stojícímu obrobku, tak pro pohyby obrobku vzhledem k nepohyblivému nástroji. Pohyby nástrojů se označují symboly bez čárky (např. X) a pohyby obrobků pak symboly s čárkou (např. X'). Kladný smysl jak přímočarého, tak rotačního pohybu určujeme pravidlem pravé ruky. [1]



Obr. 3) Pravidlo pravé ruky souřadného systému [1]

2.4 Vztažné body v souřadnicové soustavě na CNC stroji


Abychom mohli určit polohu nástroje a obrobku v normální souřadné soustavě na stroji, jsou v pracovním prostoru stroje definovány určité body. Potom jsme schopni vzhledem k těmto bodům určit a kontrolovat polohu nástroje. Rozeznáváme následující vztažné body. [1, 4]

- **Referenční bod (R)** 

Je pevně stanovený bod. V tomto bodě dochází ke sladění odměřovacího zařízení s řídicím systémem stroje. Řídicí systém má v paměti uloženou polohu referenčního bodu vzhledem k nulovému bodu a po najetí na referenční bod zná řídicí systém absolutní polohu v normálním souřadném systému stroje.

- **Nulový bod stroje (M)** 


Určuje výrobce při konstrukci stroje. Nulový bod je tedy počátkem normální souřadné soustavy stroje a nemůže být měněn, ale může být posunut o zvolenou hodnotu.

- **Nulový bod obrobku (W)** 

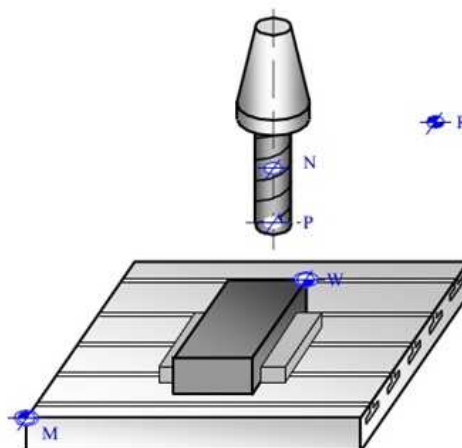
Je pomocným bodem programátora a je zvolen za účelem snadnějšího popisu tvaru součásti.

- **Nulový bod nástrojového držáku (N)** 

Stanoven výrobcem stroje. Referenční bod nástrojového držáku, ke kterému se vztahují rozměry všech nástrojů.

- **Nulový bod nástroje (P)** 

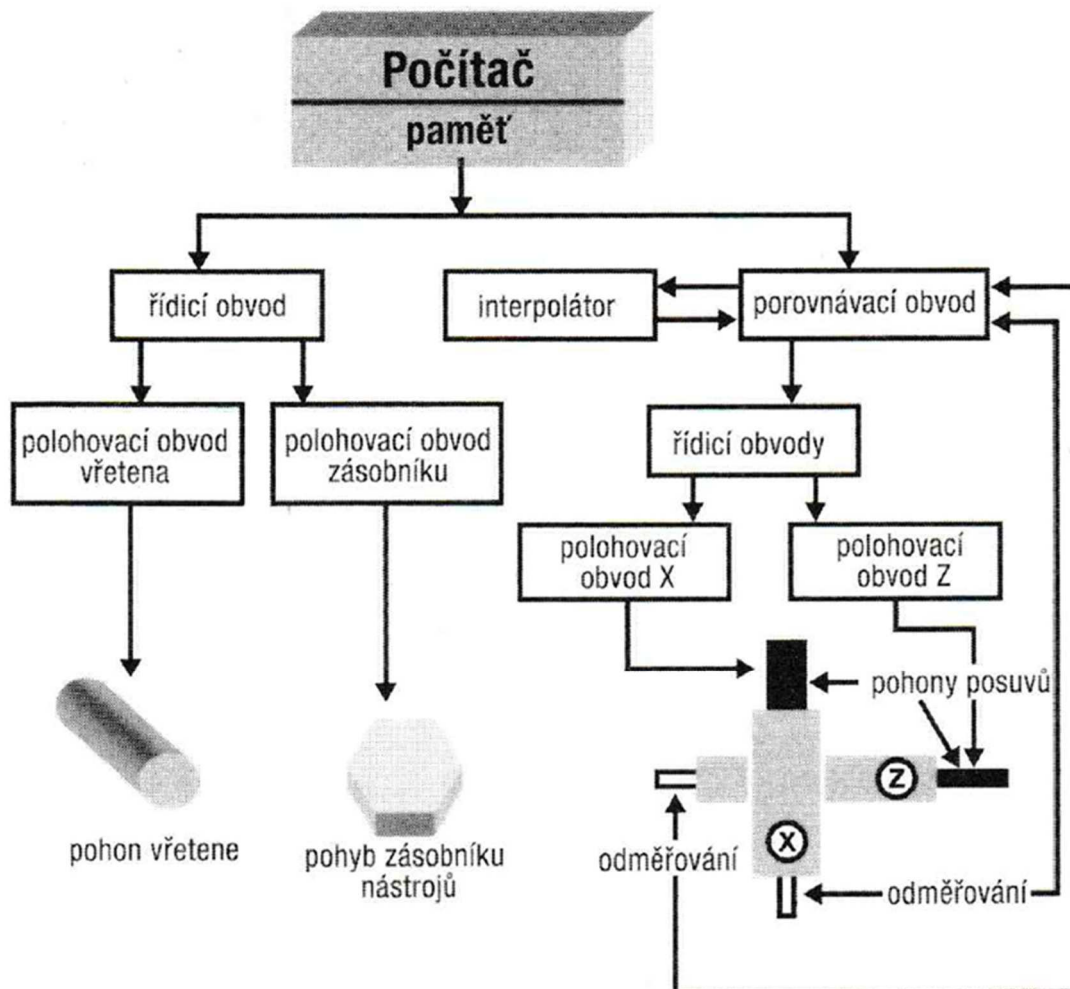
Je to bod teoreticky ležící na špičce nástroje (soustružnický nůž), leží v ose nástroje v jeho čele.



Obr. 4) Vztažné body obráběcích strojů (vzor frézka) [4]

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Elektronika CNC strojů se skládá z částí zajišťující přesný a bezproblémový provoz za určitých podmínek. Základním členem je počítač, kterým se ovládá celý stroj.



Obr. 5) Zjednodušené blokové schéma CNC obráběcího stroje [2]

Počítač – Jedná se o průmyslový počítač, do něhož je nahrán řídicí systém (dále ŘS), který může být od různých autorů, ale musí vyhovovat možnostem stroje a počítače, tím i požadavkům předpokládané technologie výroby. Z hlediska obsluhy je dán obrazovkou a ovládacím panelem. Pomocí ovládacího panelu lze provádět příkazy potřebné při ruční obsluze, pro seřizování CNC obráběcího stroje a pro práce v dalších režimech stroje. Umožňuje pomocí příslušného softwaru ŘS vytvářet požadovaný CNC program. Program můžeme vytvořit i mimo stroj a nahrát ho do stroje, do jeho ŘS. Program se uskládá v paměti a pro vlastní práci se vyvolá příkazem.

Řídící obvody – V těchto obvodech se logické signály převádí na silnoproudé elektrické signály, kterými se přímo ovládají jednotlivé části stroje: motory vřetene a posuvů atd.

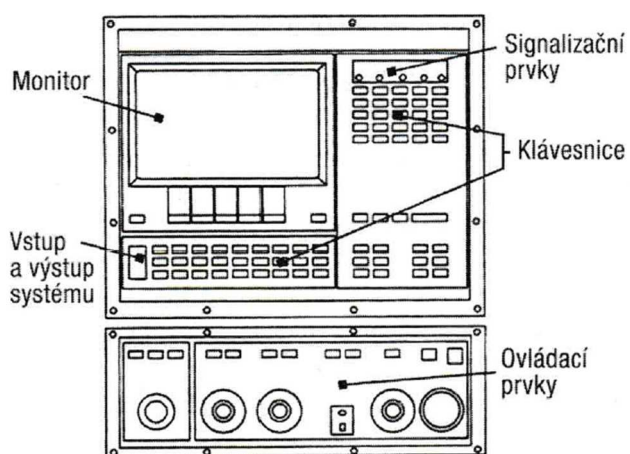
- Řídí stroj pomocnými funkcemi.
- Řídí dráhu nástroje pohybovými funkcemi, popisující geometrii pohybu v osách.

Interpolátor – Řeší dráhu nástroje, která je zadaná geometrií, a zahrnuje zadané délkové korekce a korekce na průměr nástroje, resp. poloměr špičky nože nástroje (jejich superpozici). Tedy vypočítává elementy dráhy mezi bloky, ze startovacího do cílového bodu – ekvidistantu pohybu bodu výměny nástroje, která je vzdálena o vypočítané korekce od požadovaného geometrického obrysu. Zaručuje geometrickou přesnost výrobku. Dráha může být přímková (lineární interpolace), kruhová (rádiusová interpolace) a u vyspělých AS také ve šroubovici a obecná (spline).

Porovnávací obvod – Stroj by měl být vybaven tzv. zpětnou vazbou (až na výjimky u jednoduchých CNC strojů určených většinou pro základní výcvik obsluhy), která přenáší informace o dosažených geometrických hodnotách suportů z pravítek, která jsou umístěna v souřadných osách dráhy pohybu suportů, tedy nástroje. Tyto souřadnice se porovnávají s hodnotami, které jsou zadány programem (a upraveny v interpolátoru). Pokud je zjištěn rozdíl, pohony posuvů dostanou povel k dosažení požadovaných hodnot souřadnic. Takový stroj je vybaven odměřováním, které je součástí ŘS a takto zajišťuje vyšší stupeň přesnosti výroby.

Řídicí panel – Bývá řešen různě, podle výrobce. Dělí se na několik částí, lišících se svým významem:

- **Vstup dat** – část alfanumerická, pomocí níž se ručně zapisuje například program, data o nástrojích, o seřízení stroje, strojní konstanty atd.
- **Ovládání stroje** – část speciální, jejíž pomocí se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřeteníku, ovlivňuje se ručně velikost posuvů, rychloposuvů a otáček.
- **Volba režimu práce** – je možné zvolit ruční režim, automatický režim, režim B-B blok po bloku, případně další. Zde lze použít například zrychlení, zpomalení otáček, posuvů a rychloposuvů v rámci seřízení stroje, ověření programu a vlastní automatické výroby. Je možné vyvolat editaci nového programu, uložených programů atd.
- **Aktivace paměti** – vyvolání, přepnutí paměti (archivu, editace programu, probíhající automatizované výroby).
- **Aktivace testů** – vyvolání testů programů a testů stroje, simulací programů.
- **Obrazovka** – slouží ke kontrole prováděných činností.
- **Přenosný panel** – je spojen kabelem s řídicím panelem, slouží k ovládání základních pohybových funkcí stroje, stejně jako základní část klávesnice. Umožňuje při seřizování a ovládání stroje přejít obsluze do míst, která poskytují dokonalejší možnost vizuální kontroly. [2]



Obr. 6) Řídicí panel CNC (obecná ukázka) [2]

3.1 Popis funkce CNC řídicího systému

Zásadním úkolem NC je řízení relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem, přičemž instrukce o dráze a rychlosti jsou stanoveny v NC programu, který obsahuje řídicí informace ve formě alfanumerických znaků. Vytvoření NC programu se může vždy v návaznosti na organizační formu uskutečnit dvěma rozdílnými způsoby. V prvním případě se sestavují NC programy v oddělení přípravy práce za pomoci strojních NC programovacích systémů a přenášejí se do řídicího systému. Druhou, flexibilnější cestou vedoucí k zadání jednoduchých obráběcích úkolů je tvorba programů, případně přepracování programů uživatelem stroje na řídicím systému samotném. [1]

Zadané informace NC programu a zpracované korekce jsou v řídicím systému dekodovány a dále odděleně zpracovány podle geometrických a technologických údajů a logických funkcí. Geometrickými údaji jsou všechny údaje o dráhách, které má vykonat nástroj a obrobek, z nichž nakonec vznikne požadovaná geometrie obrobku. Technologickými informacemi jsou např. funkce týkající se výběru nástroje, stejně jako funkce týkající se volby otáček vřetena nebo řezné rychlosti. [1]

Interpolátor vypočítá pro zadaný úsek dráhy koordinovanou posloupnost pojezdů v osách podle směru a rychlosti, a tak vytvoří požadované vstupní hodnoty pro pohony os. Překrytím jednotlivých pojezdů os vznikne potom pohyb nástroje podél programovaného obrysu obrobku. [1]

3.2 Provozní režimy CNC obráběcích strojů

Při obsluze stroje se můžeme setkat s několika druhy provozních činností stroje, daných jeho řídicím systémem. Lze je nastavit na řídicím panelu příslušnými tlačítky. Obvykle mají řídicí systémy následující režimy:

- Režim **MANUAL (ruční provoz)** – slouží k přestavení nástroje nebo měřicího zařízení do požadované polohy, k výměně nástrojů v zásobníku, zjištění korekcí nástrojů na stroji, najíždění (posuvu) k obrobku, k rozběhu otáček např. pro ruční obrábění atd.
- Režim **AUTO (automatický)** – plynulé provádění programu) – stroj po zpracování bloku čte a zpracovává další blok automaticky – plynulý (kontinuální proces obrábění).
- Režim **B-B (blok po bloku)** – stroj po zpracování bloku se zastaví a po opakovaném startu čte a zpracovává další blok. Takto lze provést celé obrábění podle programu. Režim B-B slouží jako jedna z možností kontroly, zda byl CNC program správně vytvořen.
- **Nastavení – ovlivnění velikosti otáček, pracovního posuvu, rychloposuvu** – velikost pohybu lze ovlivnit ručně, obvykle potenciometrem, kde lze nastavit rozsah (i v průběhu obrábění), který bývá v rozmezí 5 % až 150 % hodnoty nastavené pro ruční, nebo automatický režim. Použití je nutné:
 - Při ručním řízení stroje, například při zjišťování nulového bodu obrobku (třeba „naškrábnutím“ materiálu), při seřízení nástrojů (měření korekcí nástrojů na stroji).
 - Při automatizovaném řízení, při obrábění prvního obrobku. Je výhodné najíždět k obrobku sníženým rychloposuvem pro vyloučení možné havárie, například z důvodů chybně určeného nulového bodu obrobku v programu nebo na stroji.

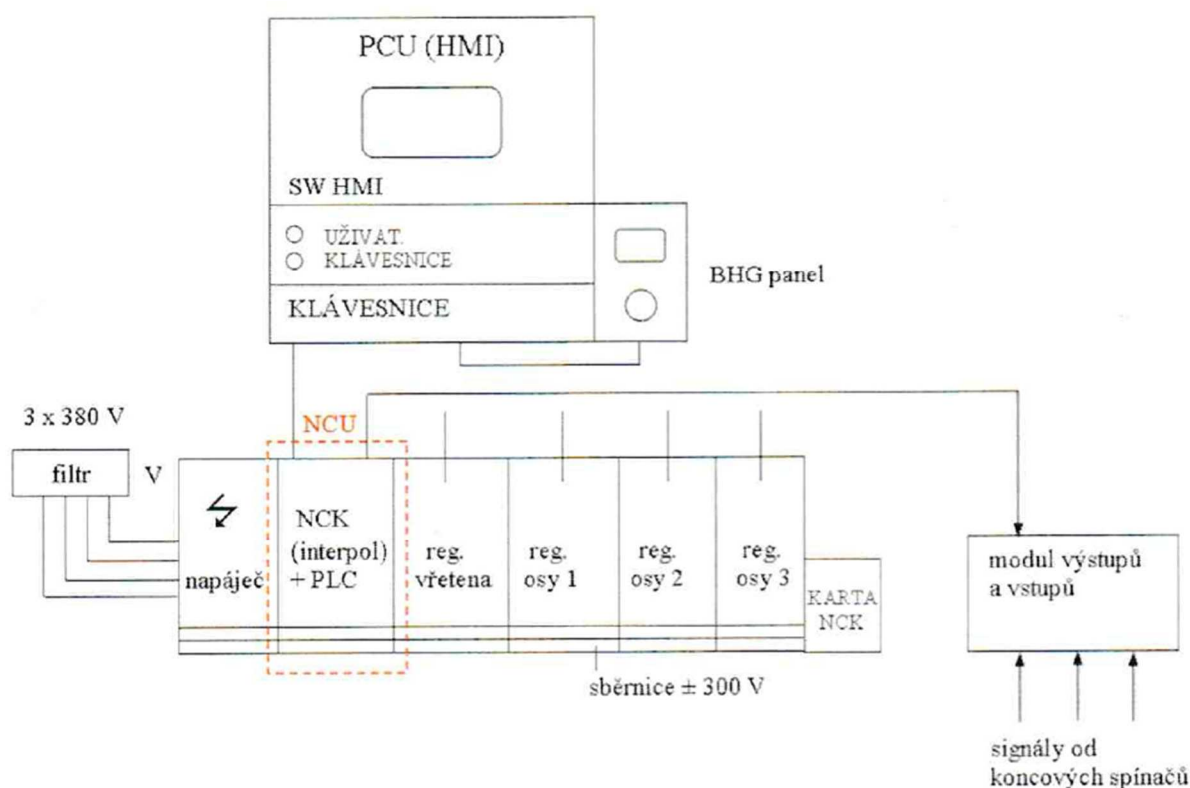
- Při obrábění může obsluha stroje ručně změnit chybně stanovené řezné podmínky (posuv, otáčky) uvedené v programu, (Program CNC je následně nutné opravit.)
- Režim **TOOL MEMORY (paměť nástrojových dat)**, nebo také tabulka nástrojů – umožňuje uložit a vyvolat, případně opravit korekce nástroje a další data k nástrojům, Název paměti může být rozdílný, stejně tak se zapisované údaje k nástrojům mohou lišit svým názvem a počtem informací k danému nástroji (například velikost opotřebení, trvanlivost daného nástroje, název, tvar a další) a způsobem vyvolání k činnosti. Nástroje, uložené v zásobníku nebo v revolverové hlavě, mají v tabulce korekcí přiřazené údaje o velikosti délkových a rádiusových korekcí, které řídicí systém (ŘS) načte a zpracuje — používají se funkce M06 (je to vyvolání výměny nástroje, zápis M06 nebývá vždy při použití daného nástroje povinný), nástroj je označen písmenem T. Při jiném způsobu se používá např. značení TOI 01 — první dvojice reprezentuje číslo nástroje, druhá dvojice korekce přiřazené k tomuto nástroji. Korekce mohou být vyvolány i jinými způsoby, které si určují autoři řídicích systémů. U strojů s jedním nástrojem, kde se výměna nástrojů provádí ručně, bývá funkce M6 povinná.
- Režim **TEACH IN** („učící se” anebo také „najetí a uložení”) – stroj má „schopnost” učit se. Obsluha provádí ručně (pomocí klávesnice nebo ručního posuvu na stroji) činnost požadovanou pro vyrobení obrobku. Dochází k automatickému načítání úkonů (programových bloků) do editoru. Takto zadané úkony se vykonávají automaticky při následném spuštění CNC programu.
- Režim **EDITACE** programu – vlastní program pro obrábění se zapisuje přímo do editoru na stroji nebo je „nahrán” do řídicího systému stroje externě (z počítače, flash disku, po síti). V editoru řídicího systému se mohou programy podle potřeby opravovat, doplňovat a zejména skladovat jako soubory. Tvorba, editace programu se provádí i mimo stroj na PC, který má v sobě nahrán daný ŘS, zde se též odladí.
- Režim **DIAGNOSTIKY** – oznamuje, lokalizuje, diagnostikuje závadu, aby bylo možné její rychlé odstranění. Umožňuje i dálkový servis. [2]

4 HARDWARE CNC STROJŮ

Panel operátora zobrazuje aktuální stav stroje a řídicího systému. Řídicí systém se skládá z průmyslového počítače (PCU), ve kterém je nainstalován software HMI a řídicí jednotky NCU.

Elektronika CNC strojů je vždy složena ze tří hlavních částí.

- **Vstupní část** – Přívod elektrické energie, její úprava a rozvedení dle následných požadavků jednotlivých prvků.
- **Řídicí obvod** – Porovnává vstupy, řeší program, na jehož základě dává příkazy jednotlivým akčním členům.
- **Výstupní část** – Akční členy, které reagují na podněty z řídicího systému a plní jejich požadavky.



Obr. 7) Hardware řídicího systému Sinumeric 840 D [1]

4.1 Napájecí část

Zajišťuje napájení výrobního stroje z vhodného zdroje (zpravidla elektrická síť). Kdy obsahuje prvky na ochranu prvků uvnitř CNC stroje i jeho blízkého okolí a úpravu napětí dle následných požadavků v obvodu.

4.1.1 Přívodní vodič

Zajišťuje přívod elektrické energie do tzv. patice stroje. Musí splňovat požadavky na bezpečný provoz a umožňovat přívod dostatečné velikosti elektrické energie potřebné pro činnost CNC stroje a jeho přídatných zařízení (čerpadlo chladící kapaliny, dopravník třísek apod.).

4.1.2 Hlavní vypínač

Zajišťuje možnost zapnutí/vypnutí stroje v místě přívodu elektrické energie. Musí umožnit pouze tyto dvě polohy (zapnuto/vypnuto) a zároveň umožňovat zajištění ve vypnutém stavu proti neúmyslnému zapnutí pro případný bezpečný servis, či práci na elektronické části CNC stroje bez nutnosti odpojení přívodního vodiče od elektrické sítě.

4.1.3 Jištění

Odpojují přívod el. energie v případě nadproudu (přetížení nebo zkrat). Rozlišujeme 3 základní možnosti jištění: [6]

- **Jističe** – Jedná se o nedestruktivní jistící zařízení, tedy při zkratu dochází k odpojení a po následné opravě zkratu lze jistič opět znova zapnout a obnovit dodávku proudu do obvodu.
- **Pojistky** – Hlavní výhodou je jednoduchost, a tedy většinou nižší cena a menší rozměry. Další výhodou může být i vyšší rychlost vypínání na rozdíl od jističů. Při zkratu dochází ke zničení a lze obnovit pouze výměnou za nový kus.
- **Proudový chránič** – Elektrický přístroj, který odpojí elektrický obvod, pokud část přitékajícího elektrického proudu uniká mimo obvod (například při poškození izolace nebo při zkratu).

Charakteristickými vlastnostmi pro určení správného jištění jsou:

- **Jmenovité napětí** – Napětí, pro které je jistič určen.
- **Jmenovitý proud** – Proud, který jistič trvale propouští, aniž by rozpojil obvod.
- **Zkratový proud** – Proud, který je jistič ještě schopen vypnout. Zkratový proud je dán fázovým napětím sítě a impedancí vypínací smyčky.
- **Vypínací charakteristika** – Závislost času vypnutí jističe na velikosti poměrného proudu jističem.
- **Poměrný proud** – Poměr procházejícího proudu ku jmenovitému proudu jističe.

Pro určitý způsob použití existují standardizované charakteristiky jističů. Např. jističe určené pro ochranu elektromotorů (tzv. Motorové jističe) musí být konstruovány tak, aby vysoké proudy při rozběhu motoru nevedly k jejich nežádoucímu vypnutí.

4.1.4 Vstupní filtry

Ve většině případů, kdy napájíme síťovým napájecím zdrojem elektronická zařízení, musíme provádět ještě filtraci pro omezení výkyvů v elektrické síti a zároveň vyhlazení přímo v zařízení. Nejjednodušším filtračním prvkem je kondenzátor a tlumivka. Pro malé proudy se používají filtry RC, neboť na rezistoru by při větších prouděch vznikl neúměrný úbytek napětí. Pro větší proudy se používají LC filtry. Větší filtrační účinky, než pasivní filtry mají filtry aktivní. Při menších rozměrech mají větší filtrační účinek než filtry pasivní. [7]

4.1.5 Pomocné napájecí zdroje

Zajišťují úpravu velikosti a typu elektrické energie potřebné pro některá zařízení. Velikosti napětí jsou upřednostňovány v již zavedených řadách (6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 110 V). V oblasti řízení obráběcích strojů se nejvíce uplatňují průmyslové spínané zdroje o výstupním stejnosměrném napětí 24 V, kdy tato hodnota napětí je zároveň brána i jako hodnota bezpečného napětí. Ale na výběr je celá řada různých typů a velikostí výsledného napětí, které se volí dle následných požadavků použitých komponent.

4.2 Řídicí systémy

Zajišťuje řízení stroje u CNC strojů většinou formou PLC nebo vyšších forem řídicího systému s možností regulace pohonů. Řídicí systém musí být schopen zajištění všech provozních a bezpečnostních funkcí. Lze provést i logické řízení např. pomocí relé nebo stykačů, ale pro složitější aplikace jsou tyto prvky velmi nepraktické.

Možné provedení řídicích systémů jakožto:

- centralizovaný řídicí systém** – o řízení pohonů se stará přímo řídicí systém, měnič je pouze jakožto výkonová jednotka – tzv. motion control (interpolace, polohová regulace apod.) je v řídicím systému.
- decentralizovaný řídicí systém** – měnič zajišťuje funkce řízení pohybu (tj. motion control), řídicí systém dává pouze nadřazené příkazy (např. „najeď do polohy XY“).

K řízení může být použit i klasický stolní počítač s příslušnými ovládacími programy. Pro řízení lze využívat i malé počítače, či platformy základních verzí určené přímo k tomuto účelu, jako je například Arduino a Raspberry PI pro levné, jednoduché a prototypové verze strojů. V průmyslu se nejčastěji využívá PLC a jeho různých variant. Dále existuje celá řada řídicích systémů, které využívají základy a kombinace předchozích variant s určitými změnami, či přidáním hodnotami.

4.2.1 PLC (Programovatelný logický automat)

Programovatelný logický automat je malý průmyslový počítač používaný pro automatizaci procesů v reálném čase. U PLC se řídicí úkol, tj. pořadí povelů, neuskutečňuje pomocí vhodného přepínání relé nebo stykačů – jako je to obvyklé u řídicích systémů programovaných propojením, ale prostřednictvím řídicího programu. Bez dalších nákladů na propojení pomocí vodičů tak mohou být provedeny změny úkolu řídicího systému pouze jednoduchou úpravou PLC programu. PLC automaty zpracovávají program cyklicky, kdy se načtou jednotlivé vstupy, vykoná se program na jejímž základě jsou upravovány jednotlivé výstupy. Vstupy a výstupy jsou děleny na analogové a digitální. Kdy analogové vstupy a výstupy jsou určeny pro zpracování spojitých signálů a digitální vstupy a výstupy zpracovávají binární veličiny (0/1). S rozvojem automatizace v průmyslu jsou používány i další moduly periferních jednotek připojitelných k PLC, které jsou nazývány funkčními moduly např. pro polohování, komunikační procesory pro sběr a přenos dat a další specifické moduly podle výrobce konkrétního systému. [1, 8, 9, 10]



Obr. 8) Ukázka PLC automatu [10]

Z hlediska konstrukce se dělí do dvou skupin:

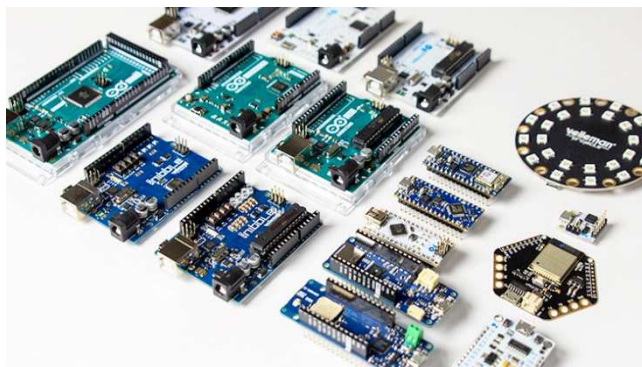
- **Kompaktní systém** je takový systém, který v jednom modulu obsahuje CPU (Central Processing Unit), digitální a analogové vstupy/výstupy a základní podporu komunikace, v některých případech i zdroj. Rozšiřitelnost kompaktních systémů je omezena.
- **Modulární systém** je takový systém, kde jsou jednotlivé komponenty celku rozděleny do modulů. Celý systém PLC se potom skládá z modulů: zdroje, CPU, vstupů/výstupů, funkčních modulů. Modulární systém je možno dále rozšiřovat (s ohledem na limity výstavby systému) a to v nepoměrně větším rozsahu než u kompaktních systémů.

4.2.2 Arduino

Arduino je otevřená elektronická platforma s grafickým vývojovým prostředím, založená na uživatelsky jednoduchém hardwaru a softwaru. Původním cílem této desky bylo vytvořit jednoduché prototypovací zařízení pro studenty. Jedná se o vlastní počítač, který pomocí různých senzorů ovládá určité výstupní členy (motory, osvětlení atd.). Dnes lze zakoupit zcela zkompletované verze (UNO, NANO, MEGA, ...), schéma a návrh plošného spoje je dostupný pro ty, kteří si chtějí postavit Arduino sami. [11, 12]

Arduino desky neplní funkci plnohodnotného počítače, a proto je třeba řídicí program vyvíjet zvlášť (na stolním počítači) a na Arduino je pouze nahrán a spuštěn. Uvnitř Arduina může být tedy nahrán pouze jeden program, který typicky obsahuje smyčku, která se neustále opakuje. Díky tomu má nízkou spotřebu energie, čímž vydrží být dlouho napájen malou baterií a hodí se pro řízení zařízení s napájených bateriemi (například dronů, robotů a podobně). [11]

Hlavní výhodou je jednoduchost použití, nízká pořizovací cena a možnost rozšíření o velké množství přídatných zařízení určená přímo pro Arduino platformy (display, wifi, čtečky, klávesnice, senzory a další). Nevýhodou je omezení jejich nasazení v průmyslovém provozu z důvodu jejich spolehlivosti s čímž souvisí i bezpečnost. Proto je jejich použití spíše směřováno na tvorbu hobby (domácích) a prototypových zařízení.

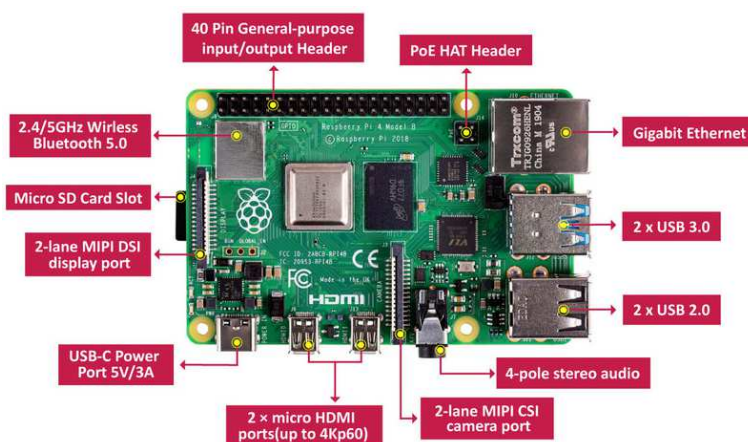


Obr. 9) Arduino platformy s příslušenstvím [12]

4.2.3 Raspberry PI

Jedná se o jednočipový počítač, který je podobný stolním počítačem o výkonu srovnatelném s výkony dnešních smartphonů. Obsahuje vývod pro monitor (Micro HDMI), USB rozhraní, audio, ethernet a další. Vyvinuto bylo již několik generací tohoto počítače, které se liší výkonem a zamýšleným použitím. Raspberry PI je možné použít nejen k ovládání různých zařízení, ale i k samotnému vývoji příslušných aplikací. Lze ho též použít jako mini počítač nebo multimediální přehrávač i jen pro přístup k internetu. [13, 14]

Aktuálně nejnovější je verze 4 model B, který obsahuje 40 GPIO pinů pro připojení různých zařízení (senzory, display, tlačítka). Výhodou pinů u Raspberry PI je, že nemají přesně definováno, jedná-li se o vstupy, či výstupy, to je definováno až následně dle požadavků. [13]



Obr. 10) Ukázka Raspberry PI 4, model B [13]

4.3 Ovladače motorů

4.3.1 Frekvenční měniče

Frekvenční měnič je zařízení sloužící k regulaci otáček elektromotorů. Změny otáček se docílují současnou změnou frekvence a napětí, po dosažení jmenovitých hodnot napětí lze zvyšovat otáčky pouze změnou frekvence. [15]

Často se též používají pro řízený rozběh a doběh bez proudových a mechanických rázů v aplikacích s velkou setrvačností (pro lehké rozběhy je možno použít levnější komponenty typu softstartér). Při rozběhu pohonu měničem se dosahuje výrazného snížení proudových a momentových rázů. [15]

Na vstupu je měnič napájen střídavým napětím, ve vnitřních obvodech je napětí usměrněno a na výstupu měniče střídačem převedeno opět na střídavé napětí o požadované velikosti a frekvenci. Dle typu vstupního napětí lze měniče rozdělit následovně: [15]

- měniče s **jednofázovým** vstupním napájením
- měniče s **třífázovým** vstupním napájením



Obr. 11) Příklad frekvenčního měniče [26]

Způsob ovládání [15]

Ovládání měniče je možno realizovat několika různými způsoby:

- manuální ovládání pomocí ovládacího panelu
 - ovládací panel je vybaven LCD displejem a tlačítky pro start, stop, zvýšení a snížení hodnoty, reverzaci, krokování a programování měniče
- manuální nebo automatické ovládání prostřednictvím externích ovládacích prvků s výstupem na řídicí svorkovnici měniče
 - digitální vstupy (0/1) je možno nastavit tak, aby po sepnutí vyvolaly funkci, kterou požadujete (např. funkce start/stop v libovolném směru, reverzace, aktivace rychlého zastavení, spuštění do přednastavené pevné frekvence v libovolném směru, nulování poruchy, zvýšení či snížení frekvence, aktivace krokování apod.)
 - na analogovém vstupu je potom možno regulovat otáčky prostřednictvím potenciometru nebo jiného analogového zdroje (napětově 0–10 V, u vyšších řad měničů též proudově 0–20 mA nebo 4–20 mA)
- dálkové řízení z PLC nebo jiného řídicího systému
 - měniče mohou být řízeny prostřednictvím různých řídicích protokolů po standardních sběrnících (Profibus, Profinet, sériové rozhraní apod.)
- automatická regulace prostřednictvím zpětné vazby
 - velmi častou metodou regulace je také regulace rychlosti otáček pomocí zpětné vazby s cílem dosažení a udržení požadované cílové hodnoty

4.3.2 Servozesilovače

Servozesilovač je z hlediska hardwaru v podstatě stejný jako frekvenční měnič. Hlavní rozdíl je ve způsobu řízení. Kdy běžné frekvenční měniče mívají skalární řízení, popřípadě vektorové řízení s rychlostní zpětnou vazbou, která ale není zavedena přímo do vektorového řízení, ale do regulátoru otáček. Tedy frekvenční měnič musí dostávat konkrétní informace co má dělat, tak servozesilovač dostává obecné informace, na jejichž základě si sám dopočítá zbylé údaje a reaguje podle nich. [17]

Servozesilovače mají vždy vektorové řízení a zpětnou vazbu zavedenou přímo do vektorového řízení. Servozesilovače jsou určeny k řízení servopohonů a mají tedy vyšší dynamiku, lepší přesnost řízení a také vyšší účinnost, protože u vektorového řízení odpovídá proud přesně krouticímu momentu, zatímco u skalárního řízení se část proudu vždy spotřebuje na buzení a projeví se jako ztrátové teplo a jen část proudu je momentotvorná. [17]



Obr. 12) Příklad servozesilovače (ABB) [18]

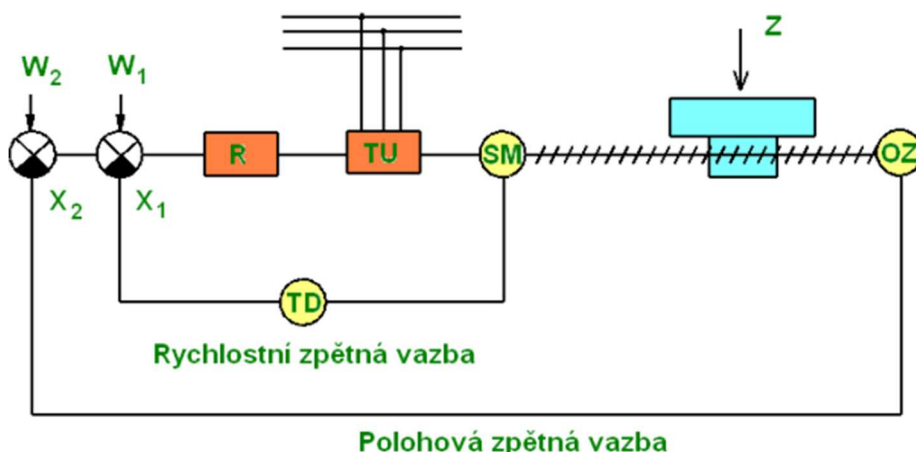
Servomechanismus má dvě vazby: [16]

1. polohová

- zajišťuje, aby se suport posouval po naprogramovanou hodnotu.
- v porovnávacím členu se porovnává řídicí veličina (W) s hodnotou (X_1), kterou získáme odměřovacím zařízením.
- je určeno pro řízení polohy.

2. rychlostní

- vlivem poruchové veličiny (Z) může dojít ke snížení rychlosti pohybu suportu, to zaregistruje snímač otáček a v porovnávacím členu se porovná požadovaná rychlost se skutečnou, případná odchylka se odstraní.
- Má pouze otáčkovou zpětnou vazbu a umožňuje sledování zadávané rychlosti.



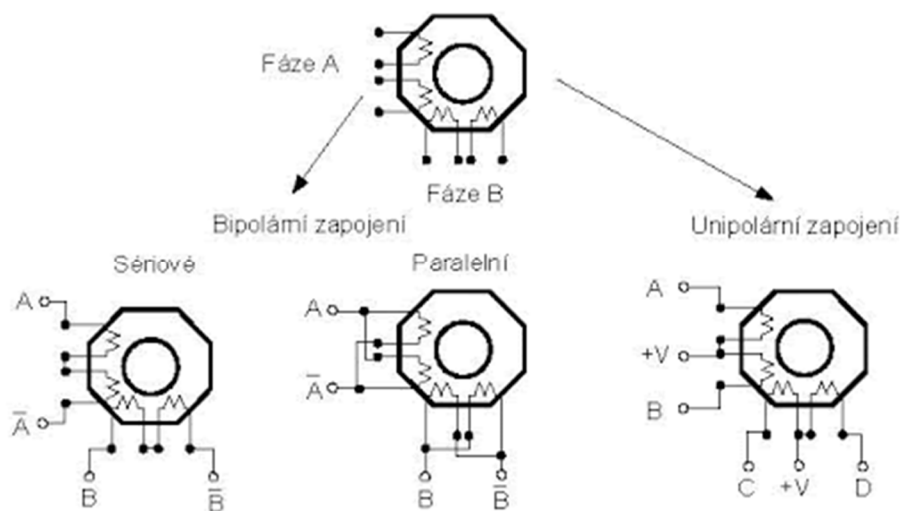
Obr. 13) Blokové schéma zpětných vazeb servomechanismu [16]

4.3.3 Drivery krokových motorů

Driver krokového motoru je speciální elektrický obvod, který dostává signály z příslušného řídicího systému o počtu kroků a směru otáčení, na jejichž základě generuje pulsy pro jednotlivé cívky motoru v přesně daném pořadí o požadované velikosti proudu a napětí, které vyvolají pohyb rotoru daným směrem o žádaný úhel natočení. Frekvence, pořadí a délka impulsů z řídicího obvodu určuje počet, smysl otáček rotoru a rovněž točivý moment stroje.

Základní parametry určující volbu driverů krokových motorů: [46]

- **Počet řízených os**
 - Podle počtu řízených os lze zvolit vhodný driver.
- **Unipolární vs. Bipolární**
 - Unipolární drivery se přestávají používat z důvodu menšího krouticího momentu.
 - Bipolární drivery se dále dělí na sériové a paralelní.



Obr. 14) Unipolární a bipolární zapojení motoru [20]

- **Výstupní proud**
 - Jaký maximální proud je schopen driver dodat motoru.
- **Módy krokování**
 - Jakého způsobu krokování je driver schopen (plný krok, poloviční krok, mikrokrokování).
- **Frekvence krokování**
 - Maximální vstupní frekvence pro příkazový signál. Dobrý driver bude mít vstupní frekvenci 0–200kHz. Toto je důležité, pokud se snažíme dosáhnout vysoké rychlosti a přesnosti.

Typ driverů krokových motorů:

1. L/R Drivery

Driver dodává konstantní napětí různým cívкам k dosažení otáčení. Proud v každé cívce je závislý na indukčnosti a rezistenci motoru. Jedná se o typ driveru, který se příliš nepoužívá, protože není moc efektivní. [48]

2. Bi-level drivery

Driver používá zdroj vysokého napětí, aby rapidně zrychlil nárůst proudu na cívkách motoru. Pak je vysoké napětí odpojeno a zdroj nízkého napětí udržuje konstantní úroveň. Tyto drivery jsou velice efektivní. Motory se méně zahřívají, ale není zde možné mikrokrokování, je umožněn pouze poloviční a plný krok. [48]

3. Chopper (PWM) drivery

Nejpopulárnější drivery krokových motorů. Známé i jako driver s konstantním proudem, protože dodává konstantní proud cívkám. Každé cívce je dodáno velice vysoké napětí a poté useknuto (chopped) když je dosažen požadovaný proud. Tyto drivery vyžadují pouze jeden zdroj napětí (proudu). Velikost proudu na každou cívku se dá většinou měnit např. potenciometrem. Tyto drivery podporují mikrokrokování, což vede k hladšímu průběhu a většímu rozlišení. [48]

4.4 Elektrické pohony

Mezi nejdůležitější parametry patří maximální přesnost, vysoká tuhost, vysoké výstupní krouticí momenty či vysoké otáčky. Z hlediska použití můžeme rozdělit pohony NC a CNC strojů do dvou skupin: [3]

- Hlavní pohony:
 - Zajišťovat možnost nastavení řezných rychlostí s dostatečnou přesností.
 - Zabezpečit pro řezný pohyb potřebný výkon.
 - Zabezpečit rychlou reverzaci řezného pohybu.
 - Umožnit konstantní řeznou rychlost při měnícím se poloměru obrábění.
 - Zabezpečit rychlé zabrzdění pohonu při jeho vypnutí.
- Vedlejší pohony:
 - Pohony posuvů.
 - Pohony všeobecného pohybu a použití:
 - Automatická výměna nástrojů.
 - Automatická výměna obrobků.
 - Pohon pro otáčení revolverové hlavy.
 - Pohon dopravníku třísek.

Mnohem důležitější je rozdělení elektrických pohonů podle napájecího napětí, tedy stejnosměrné a střídavé. To je možné ještě dále dělit na synchronní a asynchronní. Dalším možným rozdělením elektrických pohonů je na způsob pohybu (rotační a lineární), kdy v převážné většině se používají rotační pohony a k převodu pohybu dochází až následně mechanickým převodem.

Mezi dva nejčastěji používané pohony pro pohyb s jednotlivými osami v oblasti CNC strojů jsou krokové motory a servomotory.

4.4.1 Servomotory

Motory, u kterých lze nastavovat přesnou polohu s nutností využití zpětné vazby. Mohou pracovat ve dvou typech vazeb (rychlostní a polohová zpětná vazba). Motory jsou provozovány v režimech regulace polohy, rychlosti nebo momentu, či jejich kombinace. [21, 22]

1. **Stejnoseměrné servomotory** – Konstrukce je podobná jako u synchronního motoru (na statoru je trojfázové vinutí, na rotoru budící magnety). Vinutí statoru je napájeno obdélníkovými pulzy střídavé polarity.
2. **Střídavé servomotory** – mají stejnou konstrukci jako stejnosměrné motory, stator je napájen střídavým proudem. Splňuje požadavky na vysokou dynamiku, malý moment setrvačnosti, velkou přetížitelnost a přesnost.
 - a. **Asynchronní servomotor** – Jsou vhodné pro použití v aplikacích, kdy je nutné pohybovat s vysokou externí setrvačností hmoty v zařízeních a strojích a bezpečně zvládat její regulaci.
 - b. **Synchronní servomotor** – Jsou pohony, u nichž je rotor prostřednictvím permanentních magnetů synchronně poháněn točivým magnetickým polem ve statoru. Synchronní motor má pohyb synchronní k frekvenci točivého pole. [21]



Obr. 15) Servomotor [23]

4.4.2 Krokové motory

Krokový motor je indukční synchronní točivý stroj, napájený impulsy stejnosměrného proudu. K rotaci dochází postupným napájením jednotlivých pólových dvojic. Pohyb rotoru krokového motoru je při nízkých rychlostech nespojitý, rotor se pohybuje mezi stabilními polohami vždy v určitém úhlu (kroky). Počet kroků na otáčku je dán konstrukcí motoru, počtem pólových dvojic a způsobem generování řídicích impulsů. [24]

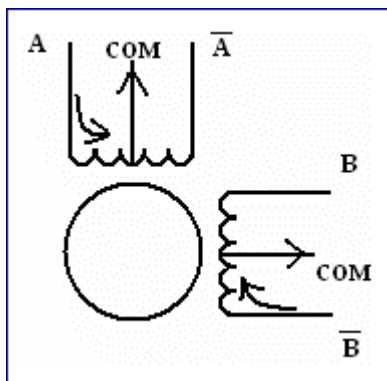


Obr. 16) Krokový motor [26]

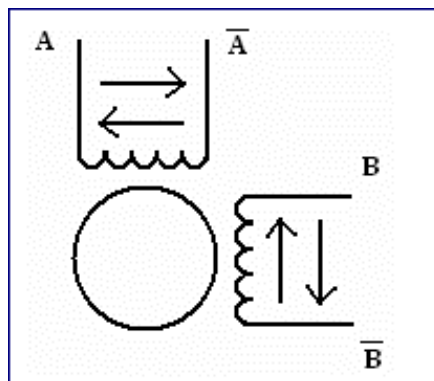
Nevýhodou krokových motorů je možnost tzv. ztráty kroku, která nastává při překročení mezního zatížení a sklon k mechanickému zakmitávání, které může vést k nestabilitě při pohybu. Obě tyto negativní vlastnosti lze předem vyloučit volbou vhodného motoru a ovladače s přihlédnutím k momentovým charakteristikám pohonu. Krokové motory lze díky svým vlastnostem použít pro přesné polohování při zachování velmi dobré ceny. [25]

Krokové motory rozlišujeme: [24]

1. Podle způsobu vinutí:
 - **Unipolární** – proud může protékat cívkou pouze jedním směrem
 - **Bipolární** – proud může protékat cívkou oběma směry



Obr. 17) Schéma unipolárního krokového motoru [24]



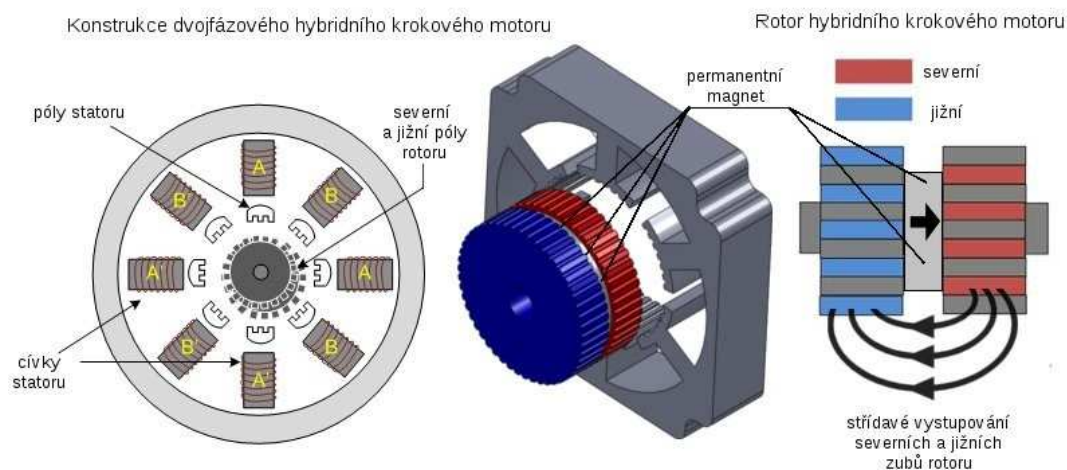
Obr. 18) Schéma bipolárního krokového motoru [24]

2. Podle počtu vinutí:

- **Dvoufázové** – standardní, nejpoužívanější
- **Vícefázové** – speciální motory (nižší vibrace, jemnější krok, složitější konstrukce, vyšší cena)

3. Podle stavby rotoru (podle buzení rotoru):

- **Reluktanční** (magnetický odpor) – Vhodně tvarovaný magnetický obvod s vyniklými póly z magneticky vodivého materiálu se vždy natočí do míst s nejsilnějším magnetickým polem. To umožňuje rozdílná magnetická vodivost vzduchu a vyniklých pólů rotoru.
- **Motor s permanentními magnety** – Využívá magnetické pole vytvořené permanentními magnety. Po obvodu rotoru se střídají severní a jižní póly budících magnetů.
- **Hybridní** – Jedná se o kombinaci předchozích variant (reluktanční a motor s permanentními magnety). Permanentní magnety jsou na rotoru uloženy axiálně na jejichž koncích jsou uloženy feromagnetické pólové nástavce.



Obr. 19) Konstrukce dvoufázového hybridního KM [24]

4.4.3 Krokové motory vs. Servomotory

Z důvodu zásadních rozdílů ve fungování mají servomotory a krokové motory různé silné a slabé stránky. Servomotory jsou mnohem dražší oproti krokovým motorům z nutnosti doplnění

o další části, které krokové motory nemají jako zpětnovazební zařízení, kartáče a v některých případech převodovky, to zároveň i zvyšuje riziko selhání některé z částí. [22]

Točivý moment krokového motoru klesá s rostoucí rychlostí nebo při větším zrychlení. Servomotory mají stálý krouticí moment až do maximálních otáček. Krokové motory nelze použít na aplikace vyžadující vysoké otáčky, na rozdíl od servomotorů, který si udrží svůj maximální výkon i při velmi vysokých rychlostech. [22]

Servomotory dosahují vyšší přesnosti a spolehlivosti díky zpětné vazbě od měřicího zařízení a možnosti velmi jemných kroků na otáčku (řádově stovky tisíc kroků na otáčku). U krokových motorů je riziko ztráty kroku, což řídicí systém nerozpozná a dojde tedy ke špatnému polohování. [22]

4.5 Doplnková elektronická zařízení

4.5.1 Odměřování

Odměřovací zařízení podávají informace o poloze nástroje vůči obrobku a o odjeté dráze. Důležité v závislosti na přesnosti a kvalitě výroby.

Rozdělení: [7]

1. podle umístění:

- **přímé** – Odměřovací zařízení je umístěno přímo na pohybujících se částech.
- **nepřímé** – Odměřovací zařízení není umístěno přímo na pohybujících se částech, kterým chceme zjistit polohu. Dochází k následnému přepočtu pro určení přesné polohy.

2. podle principu práce:

- **analogové** – Odměřovaná veličina je vyjádřena fyzikální veličinou (změna odporu, indukčnosti, kapacity, napětí), odměřovaná dráha je vyjádřena spojitě.
- **digitální** (číslicové) – Odměřovaná veličina je vyjádřena nespojitě (po skocích), dráha je vyjádřena pomocí inkrementů.

3. podle charakteru informací:

- **absolutní** – Informace o skutečné poloze nástroje vůči obrobku je udána k předem zvolenému počátku (nulovému bodu stroje).
- **přírůstkové** – Během pohybu řízené části stroje vydává odměřovací zařízení impulsy, které se v řídicím systému zpracovávají na délkový údaj. Například vydání jednoho impulsu znamená posunutí o 0,1 mm.
- **cyklicky absolutní** – Odměřuje se absolutní hodnota v rozsahu jedné odměřované zóny, která je zpravidla dána jednou otáčkou nebo určitým posuvem odměřovacího zařízení.

4. podle konstrukčního provedení:

- **lineární**
- **rotační**
- **kombinované**

4.5.2 Senzory

Senzor je zařízení, které reaguje na fyzikální podněty (jako teplo, světlo, tlak, magnetismus) a přenáší výsledný impuls k následnému vyhodnocení. Jedním z nejdůležitějších parametrů u snímačů je doba odezvy a měřená přesnost. Senzory můžeme dělit dle několika hledisek:

- Dle měřené veličiny:
 - Mechanické veličiny
 - Elektrické veličiny
 - Magnetické veličiny
 - Teplota
 - Tlak
 - Vzdálenost
- Dle fyzikálního principu:
 - Mechanické
 - Odporové
 - Indukční
 - Kapacitní
 - Magnetické
- Dle styku senzoru s měřeným prostředím:
 - Dotykové
 - Bezdotykové
- Dle transformace signálu:
 - Aktivní – Senzor, který se působením snímané veličiny chová jako zdroj elektrické energie.
 - Pasivní – Senzor, u kterého je nutné elektrickou veličinu (odpor, kapacitu, ...) dále transformovat na analogový napěťový nebo proudový signál. U pasivních senzorů je na rozdíl od aktivních senzorů nezbytné napájení.

4.5.3 Komunikační rozhraní

Je myšleno prvků určených pro komunikaci mezi člověkem a strojem (Ovládací panel). Ve většině případů se jedná o ovládací panel složený z monitoru a ovládací klávesnice. Dnes se lze i setkat s implementací těchto prvků do jednoho zařízení, či nahrazení dotykovou obrazovkou a omezení mechanických ovládacích prvků na minimum.

Dále může být doplněno o další prvky jako například dálkové ovládání pro usnadnění práce v manuálním režimu, čtecí zařízení umožňující snadný import připraveného NC kódu, update softwaru nebo doplnění rozhraní pro následnou síťovou komunikaci.

4.5.4 Další

Další elektronická zařízení mohou být různého typu. Ve většině případů nejsou nutné pro samotnou funkci CNC stroje, ale jen zajišťují vyšší bezpečnost, spolehlivost, jednoduchost a přesnost strojů.

- Bezpečnostní prvky – jako třeba elektronické zámky a bezpečnostní závory.
- Osvětlení pracovního prostoru – Pro kvalitní vizuální kontrolu a seřízení je třeba zvolit vhodné osvětlení.
- Čerpadla a chlazení
- Servoventily

5 VARIANTY

Samotnému výběru vhodné varianty předcházet rozbor různých variant elektroniky CNC strojů. Kdy jsem provedl srovnání 3 různých návrhových variant a jejich následné zhodnocení.

Tab 1) Návrhové varianty a jejich srovnání

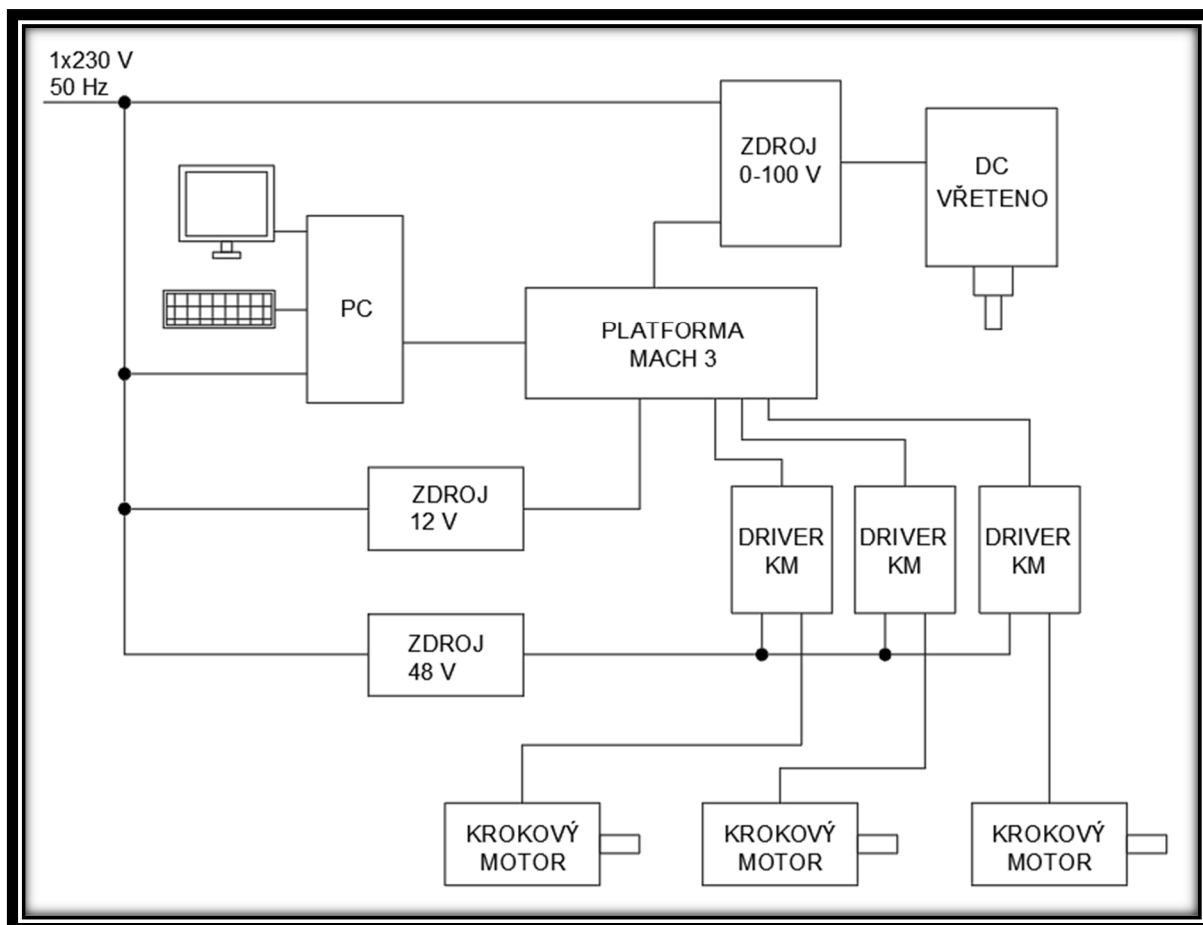
Typ:	ks	Varianty:					
		A		B		C	
Zdroj (motorů)	2	Průmyslový spínaný zdroj		Průmyslový spínaný zdroj		Součást servozesilovače	
		48V - 7,3A - 350W	1 050 Kč	48V - 7,3A - 350W	1 050 Kč		
Zdroj (řízení)	1	Průmyslový spínaný zdroj		Průmyslový spínaný zdroj		Součást PLC Sinumerik 808D	
		12V - 4,2A - 50W	390 Kč	24V - 5A - 120W	670 Kč		
Řízení	1	MACH3		PLC		PLC	
		CNC interface MACH3	355 Kč	Ethernet - Bus coupler	6 483 Kč	Sinumerik 808D	23 000 Kč
Driver	3	Driver pro 2fkrok. motory		PLC terminály		Servozesilovače	
		DC 50V - 4,2A	1 590 Kč	KL2541 8-50V, 5A	4 150 Kč	ES-DH2306 230V 6A	8 780 Kč
Motor	3	Krokové motory		Krokové motory		Servomotory	
		SX23-2727	1 100 Kč	SX23-2727	1 100 Kč	ES-MH33480	6 860 Kč
Odměro- vání	3	Žádné		Enkodéry		Pravítka	
				E6B2-CW26C-2000	6 541 Kč	470mm - 5µm	5 580 Kč
Zdroj vřetene	1	PWM zdroj 0-100 V		Frekvenční měnič		Frekvenční měnič	
		V sadě u vřetene		FC-301P1K1 1,1 kW, 3f	11 500 Kč	VFD-EL 3,7 kW, 3f	8 960 Kč
Vřeteno	1	DC vřeteno		Asynchronní vřeteno (3f)		Asynchronní vřeteno (3f)	
		500W - 3000-12000 rpm	3 490 Kč	500W - 0-23700 rpm	7 811 Kč	1,6kW - 0-18000 rpm	18 590 Kč
Suma:		14 405 Kč		63 937 Kč		114 210 Kč	

Některé uvedené ceny jsou pouze orientační nebo určené dle průzkumu trhu. Jedná se pouze o orientační přehled základních komponent a cenové rozdíly mezi jednotlivými variantami, nikoliv o přesnou finální cenu dané varianty. Jednotlivé varianty vycházejí od nejlevnější (spíše prototypové verze) až po technologii vyvinutou přímo pro řízení CNC strojů i v průmyslovém provozu. K dosažení nejlepší volby pro danou aplikaci lze jednotlivé varianty kombinovat a snižovat pořizovací náklady při zachování dostatečné kvality výroby. Ceny obsahují pouze položky hardware, pro řízení CNC je nutný i software a musí se tedy brát v úvahu i jeho cena, která zde není zahrnuta.

5.1 Varianta A

Jedná se o nejzákladnější a nejlevnější variantu. K řízení je využito základních platforem, jako je například Arduino nebo Raspberry Pi doplněné o samostatné drivery nebo kompaktní shieldy pro řízení krokových motorů. Rovněž lze mezi tyto základní způsoby řízení zařadit již předpřipravených desek pro řízení hobby CNC strojů jako je například platforma Mach3. Platforma Mach3 je pouze komunikační rozhraní, které k řízení potřebuje software běžící na PC pod operačním systémem Windows a společnou komunikaci přes sériový port. Rovněž jde také využít softwaru Linux CNC, který je volně dostupný nebo kterýkoliv jiný předpřipravený základní systém pro CNC obrábění. Jako pohon jsou zvoleny krokové motory bez enkodérů. Tedy k najetí do žádané polohy dochází pouze uskutečněním přesně daného počtu kroků bez

zpětné vazby přepočítané dle parametrů převodového mechanismu umístěného na jednotlivých osách (převodovka, kuličkový šroub, ozubený řemen, ...). Vřeteno je zvoleno na stejnosměrné napětí umožňující plynulou změnu otáček změnou velikosti napájecího napětí přes PWM regulátor.



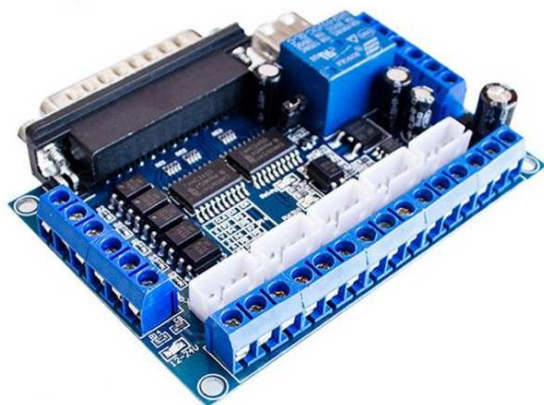
Obr. 20) Schéma návrhové varianty A

Názorná ukázka:

Varianta A je napájena z elektrické sítě jednofázovým napětím 230V 50Hz, kdy je následně hned usměrněno a zredukováno na nižší napětí o velikosti 12V pomocí klasického průmyslového spínaného zdroje pro napájení všech elektrických komponent (vyjma vřetene a motorů), jako je například řízení a senzory. Pro napájení krokových motorů je využito opět průmyslových spínaných zdrojů, tentokrát s výstupním stejnosměrným napětím 48V.



Obr. 21) Průmyslový spínaný zdroj [26]



Obr. 22) Platforma MACH 3 [27]

Pohon je řešen využitím krokových motorů od firmy Microcon typu SX23-2727. Motory umožňují standardní délku kroku $1,8^\circ$ s možností dalšího elektrického zmenšení. Tento typ motoru obsahuje přírubu NEMA23 pro snadnou a univerzální instalaci do daného stroje. Jsou schopny vyvinout statický krouticí moment o velikosti 2,7 Nm při jmenovitém napětí 2,7/5,4 A (sériové/paralelní zapojení). Motory



jsou řízeny a napájeny pomocí dvoufázového ovladače krokových motorů do 50V a 4,2A s možností 15 volitelných rozlišení kroků až do 25000 kroků/ot.. Samotné řízení je řešeno z řídicí jednotky pomocí 3 proměnných:

- Enable = aktivace
- Direction = směr
- Pulse = počet pulzů

Obr. 24) Driver pro 2f krokové motory M542 [26]

Vřeteno je zvoleno na stejnosměrné napětí s výkonem 500W a možností změny otáček od 3000 do 12000rpm. Motor o maximálním napětí 100V a proudu 6A umožňující točivý moment 0,5Nm. Vřeteno je zakončeno kleštinou typu ER11. K napájení a řízení otáček vřetene slouží DC zdroj napětí s PWM regulací. Reguluje výstupní napětí od 0V do 100V a to buď manuálně pomocí potenciometru nebo přímo z řídicí jednotky pomocí analogového vstupu změnou napětí od 0-10V.



Obr. 25) Sada DC vřetene pro CNC 500W [27]

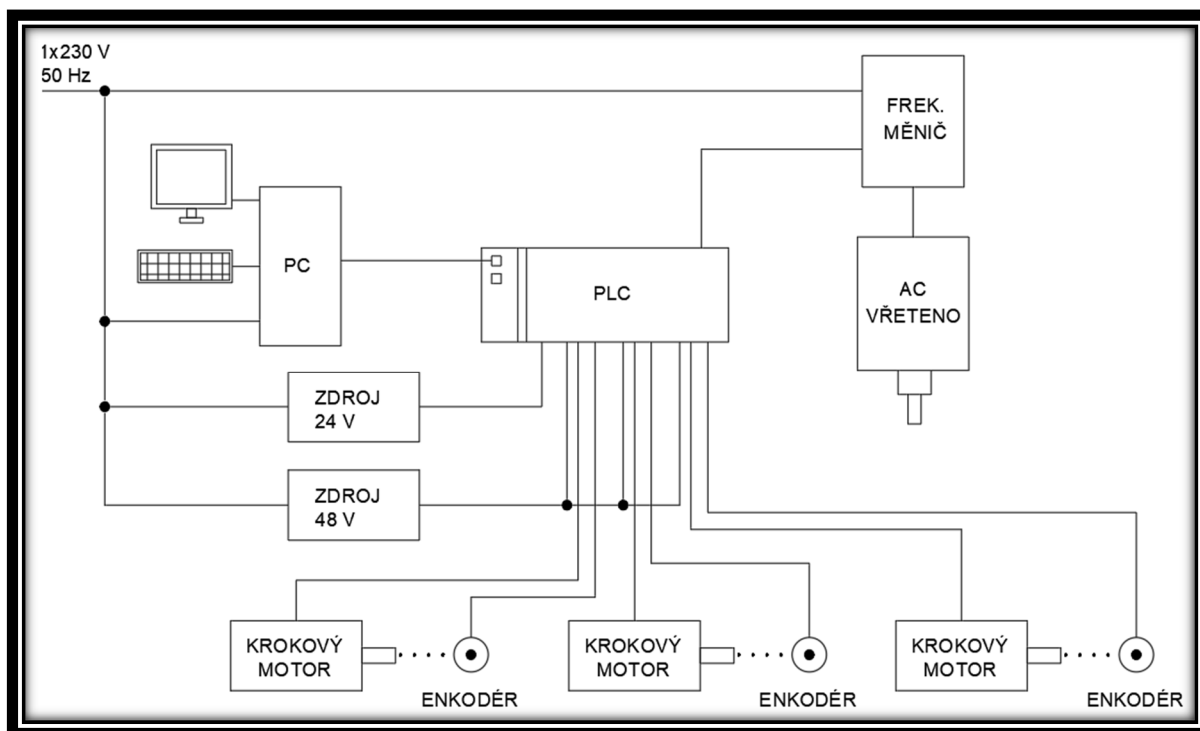
K řízení je využito předpřipravené platformy MACH3 umožňující připojení až 5 os, ovládání vřetene (jeho rychlosti i spínání v jednom směru) a vstupy několika bezpečnostních prvků jako jsou například koncové spínače jednotlivých os a Totalstop. K samotnému řízení je pak potřeba ještě stolní PC s předpřipraveným softwarem MACH3, kde se upraví pouze parametry dle konstrukce stroje. Software MACH3 je volně dostupný ovšem pouze do 1000 řádků NC programu. Pro vykonávání více řádků je třeba software zakoupit.



Obr. 23) Microcon SX23-2727 [28]

5.2 Varianta B

Skládá se z průmyslového PLC řídící procesy CNC stroje. Je řízeno počítačem a jsou k němu přivedeny všechny vstupy a výstupy. Jako pohony jsou opět použity krokové motory, ale tentokrát s nepřímým odměřováním v podobě enkodérů. Vřeteno je již zvoleno s asynchronním motorem napájené přes frekvenční měnič. Pro ovládání je opět potřeba počítač, na kterém bude běžet komunikace v reálném čase s CNC strojem.



Obr. 26) Schéma návrhové varianty B

Názorná ukázka:

Varianta B je napájena (stejně jako varianta A) z elektrické sítě jednofázovým napětím 230V 50Hz a následně usměrněno a zredukováno na stejnosměrné napětí 24V pro řízení a napájení všech elektrických komponent (vyjma vřetene a motorů), jako v předchozí variantě akorát s rozdílným napětím a stejnosměrné napětí 48V pro napájení krokových motorů.

K řízení je využito průmyslového PLC konkrétně od firmy Beckhoff s možností přizpůsobení vlastností dle dané aplikace využitím konkrétního počtu a typu terminálů. Zde je využito terminálů s digitálními vstupy a výstupy a terminálu přímo určených pro ovládání krokových motorů se zpětnou vazbou od enkodéru.



Obr. 27) Ukázka průmyslového PLC bus-coupler [30]

Pohon je řešen využitím krokových motorů od firmy Microcon typu SX23-2727 (stejně jako varianta A). Tedy motory umožňují standardní délku kroku 1,8°, přírubu NEMA23, statický krouticí moment o velikosti 2,7 Nm při jmenovitém napětí 2,7/5,4 A (sériové/paralelní zapojení). Motory jsou řízeny a napájeny pomocí terminálu k tomu určenému (součástí PLC)

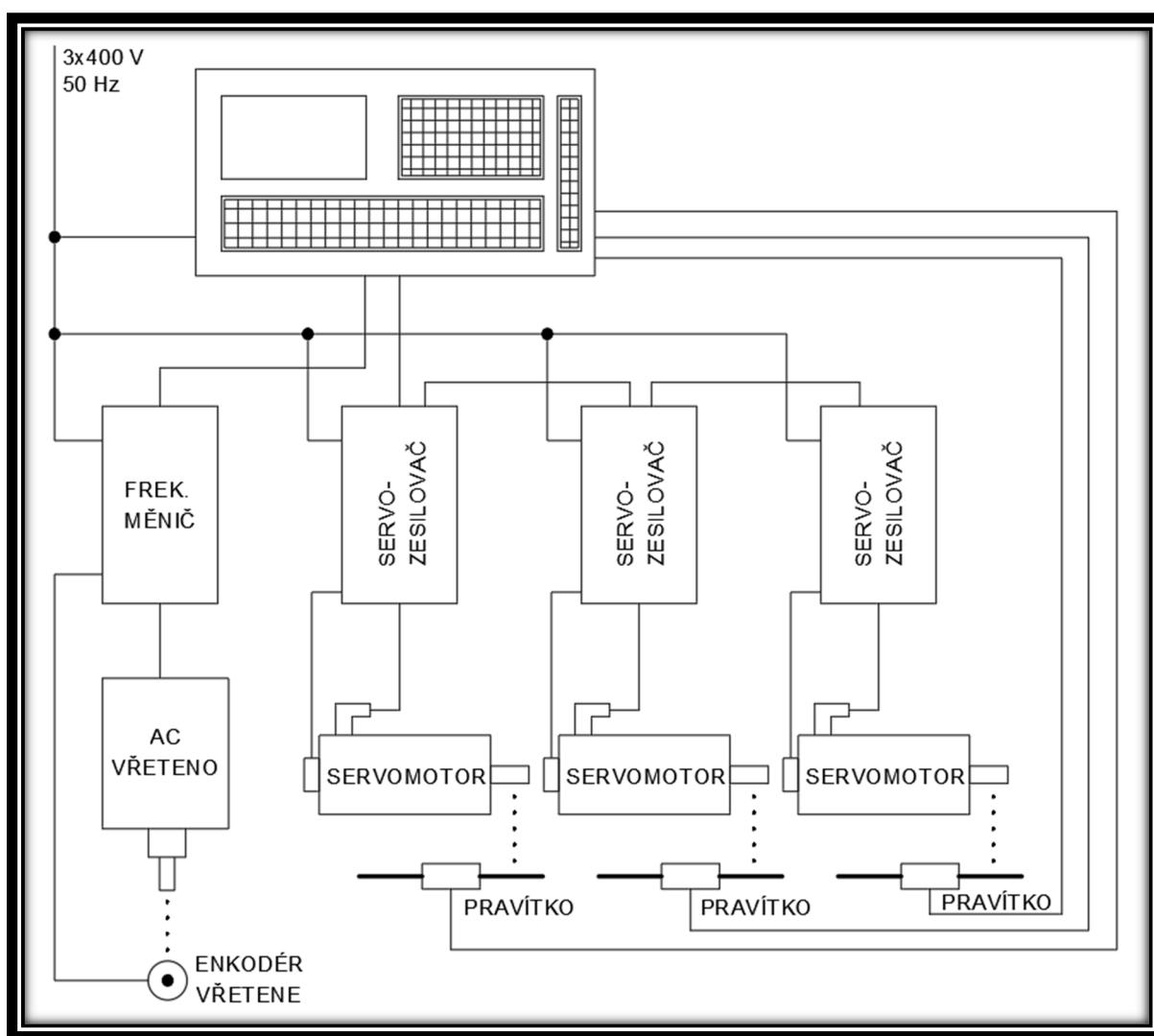
do 48V a 5A. Ke zpřesnění polohy jsou motory doplněny o rotační enkodéry zajišťující nepřímé odměřování.

Vřeteno je zvoleno asynchronní na střídavé napětí s výkonem 500W a možností změny otáček do 23700rpm. Vřeteno je zakončeno kleštinou typu ER16. K napájení a řízení otáček vřetene slouží příslušný frekvenční měnič. Reguluje výstupní frekvenci a napětí, která přímo ovlivňuje výslednou rychlost vřetene, a to manuálně na displeji nebo pomocí analogového signálu změnou napětí od 0-10V.



Obr. 28) Asynchronní vřeteno s frekvenčním měničem [29]

5.3 Varianta C



Obr. 29) Schéma návrhové varianty C

Varianta C využívá k řízení PLC vyšší třídy přímo určené k řízení CNC strojů i v průmyslovém nasazení. Jako pohon jsou zde zvoleny servomotory napájeny servozesilovači. Samotné servomotory obsahují vlastní zpětnou vazbu, ale pro vyšší přesnost je soustava doplněna o

přímé odměřování souřadnic pomocí lineárních magnetických pravítek. Vřeten je zvoleno výkonnější 3-fázové asynchronní ovládané opět frekvenčním měničem.

Názorná ukázka:

Varianta C k řízení využívá předpřipraveného PLC vyšší generace Sinumerik 808D značky Siemens. Sinumerik je přímo vybaven zobrazovacím a základním ovládacím zařízením pro komunikaci, a tedy nepotřebuje v základní verzi žádné další přídatné monitory, klávesnice apod. Systém je již předpřipraven jak pro frézovací stroje, tak pro soustružnické stroje. Díky tomu lze systém rychle aplikovat na jakoukoliv CNC operaci.



Obr. 30) Sinumerik 808D [33]

Pohon je řešen servomotory a přímou zpětnou vazbou od magnetických pravítek s přesností 5 μm . Servopohon je zvolen 3-fázový s krouticím momentem 8 Nm zpětnou vazbou 1000 imp/ot a přírubou NEMÁ34. K ovládání dochází přes jednofázový servozesilovač na 230V plně kompatibilní se zvoleným servomotorem. Servozesilovač standartně disponuje nominálním proudem 6A a v krátkodobých špičkách až 8,2A.



Obr. 31) Servomotor [26]



Obr. 32) Servozesilovač [26]

Vřeten je zvolené stejného typu jako varianta B (asynchronní motor ovládaný frekvenčním měničem) ovšem o vyšším výkonu a doplněné o čidlo rychlosti pro lepší zpětnou kontrolu. Výkon činí 1,6 kW, ale s nižším rozsahem otáček od 18000 rpm.

5.4 Zhodnocení variant

Volba vhodné varianty je nejvíce ovlivněna finálním účelem aplikace. Jiné požadavky bude mít výrobní firma a jiné malý kutil v domácí dílně. Parametry určující zvolenou variantu mohou být cena, přesnost, zatížení při obrábění, přetížitelnost, spolehlivost, životnost, složitost, ovladatelnost, typ obrábění, materiál obrábění atd. Hledisek pro správnou volbu je velké množství a nelze tedy jednoznačně říct, že tato jedna varianta je vždy nejlepším řešením.

Krokové motory pracují na jednoduchém principu, jsou levné a lze je použít i bez jakékoliv zpětné vazby, ale při zvyšování přesnosti pomocí mikrokrokování se zvyšuje riziko ztráty kroku, tedy je přesnější polohování, ale může docházet k nepřesnostem při obrábění (lze

omezit zpětnou vazbou). Krokové motory nelze přetěžovat a v případě přetížení dojde pouze k rozkmitání výstupní hřídele motoru. Servomotory mají již integrovanou zpětnou vazbu, tedy už je zaručena vyšší přesnost s vyššími dynamickými parametry a možností krátkodobého přetížení bez větších škod.

Ve variantách jsou zahrnuty všechny možné způsoby odměřování. První jako možnost absolutně bez jakékoliv zpětné vazby, pouze spoléhání na přesnost a spolehlivost krokových motorů. Lze aplikovat pouze na malé zátěže a jednoduché operace při malých zrychleních. V další variantě je již využito nepřímého odměřování pomocí enkodéru umístěného na kuličkovém šroubu. Je kontrolována ztráta kroku v motoru, ale stále ještě při velmi přesném obrábění může docházet k nežádoucím nepřesnostem v převodu pomocí kuličkového šroubu a matice. To je hlídáno ve třetí variantě přímým odměřováním pomocí lineárního pravítka. Zde je třeba zvážit danou aplikaci a přesnost výroby. Například pro obrábění dřeva jsou lineární pravítka naprosto zbytečná a vystačíme si s nepřímým odměřováním, v některých případech i bez odměřování. Ale naopak pro přesné obrábění kovových dílů je přímé odměřování nezbytné a vyplatí se do něho investovat.

Vřetenem se stejnosměrným motorem je snadné ovládat v porovnání s asynchronními motory. Je zde ale velká řada negativních vlastností, jako je například nižší životnost, menší výkony, nižší krouticí moment, a tedy možnost menšího zatížení. Asynchronní motory musí být napájeny z frekvenčního měniče, aby bylo možné měnit napájecí frekvenci a plynule měnit rychlost otáčení vřetene. S frekvenčním měničem roste i pořizovací cena stroje, ale dnes jsou již frekvenční měniče a asynchronní motory v průmyslu standardním a nejspolehlivějším řešením, tak vyšší pořizovací náklady z počátku se brzy navrátí.

6 POUŽITÉ ELEKTRONICKÉ PRVKY

6.1 Zdroje stejnosměrného napětí

6.1.1 24 V 1,3A

Jako zdroj napětí pro průmyslové PLC a logické obvody bylo využito LOGO!Power od firmy SIEMENS “6EP1331-1SH03“ generující výstupní stejnosměrné napětí o velikosti 24 V a proudu 1,3 A ze střídavého jednofázového vedení. Zařízení je montované na lištu DIN. Pracuje s účinností 85% a celkovou odchylkou 3%.

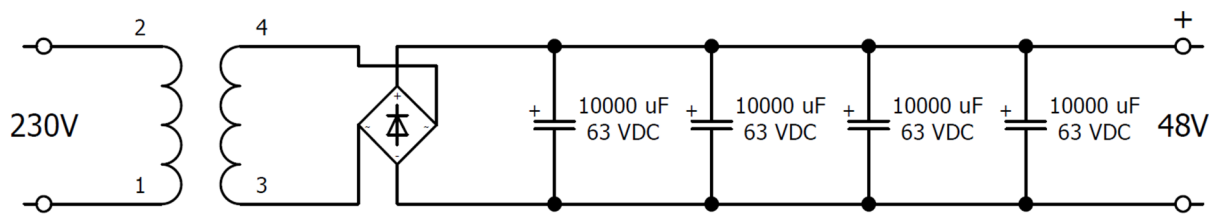
Tento spínaný zdroj umožňuje dostatečný výkon při zachování malého zástavbového prostoru 54x90x52,6mm (ŠxVxH).



Obr. 33) Zdroj napětí Siemens LOGO!Power [34]

6.1.2 48 V

Zdroj napětí pro krokové motory byl použit elektrický obvod upravující střídavé jednofázové napětí na stejnosměrné napětí o velikosti 48 V. K samotné změně dochází pomocí 3 základních komponent (transformátor, usměrňovač a kondenzátory).



Obr. 34) Schéma zdroje stejnosměrného napětí

1. Transformátor

Transformátor sníží velikost vstupního napětí z původního síťového napětí o velikosti 230V elektromagnetickou indukcí na nižší napětí.



Obr. 35) Transformátor 230V => 50V



2. Usměrňovač

Můstkový usměrňovač usměrní napětí z původního střídavého na pulzní stejnosměrné, které je dále stabilizováno. Usměrňovač KBPC1006 je ideální na desku s plošnými spoji a usměrňuje napětí do 1000 V.

Obr. 36) Usměrňovač KBPC1006 [35]

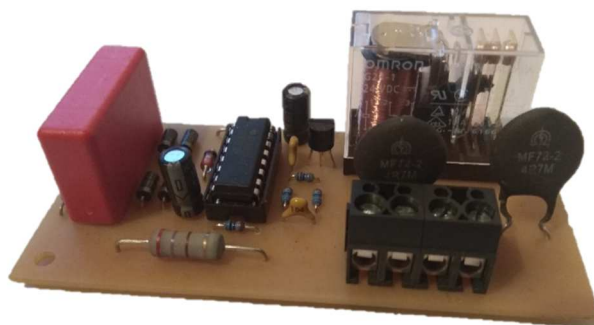
3. Kondenzátory

Kondenzátory jsou elektrické součástky se schopností akumulovat elektrickou energii. Elektrolytické kondenzátory obecně mají velkou kapacitu, velký svodový proud a jsou spíše určeny pro menší napětí. Tento elektrolytický kondenzátor SAMWHA dosahuje kapacity 10000 μF a pracuje do napětí 63 V DC.



Obr. 37) Elektrolytický kondenzátor SAMWHA 10000 μF ; 63VDC [36]

Z důvodu velké proudové zátěže při prvním spuštění je před tento obvod umístěn proudový omezovač, který při spuštění omezí procházející proud na přípustnou velikost a po určitém čase začne propouštět proud o plné velikosti.



Obr. 38) Spouštěcí omezovač proudu

6.1.3 24V 20A

Pro krokové motory se použil zdroj napájení – TRIO-PS/1AC/24DC/20, který je vhodný pro sériovou konstrukci strojů. Tento jednofázový zdroj napětí má na výstupu jmenovité napětí 24 V DC s možností regulace v rozmezí 22,5 – 29,5 V a jmenovitý proud 20 A.



Obr. 39) Zdroj napájení - TRIO-PS/1AC/24DC/20 [37]

6.2 Ochrana

6.2.1 Jističe

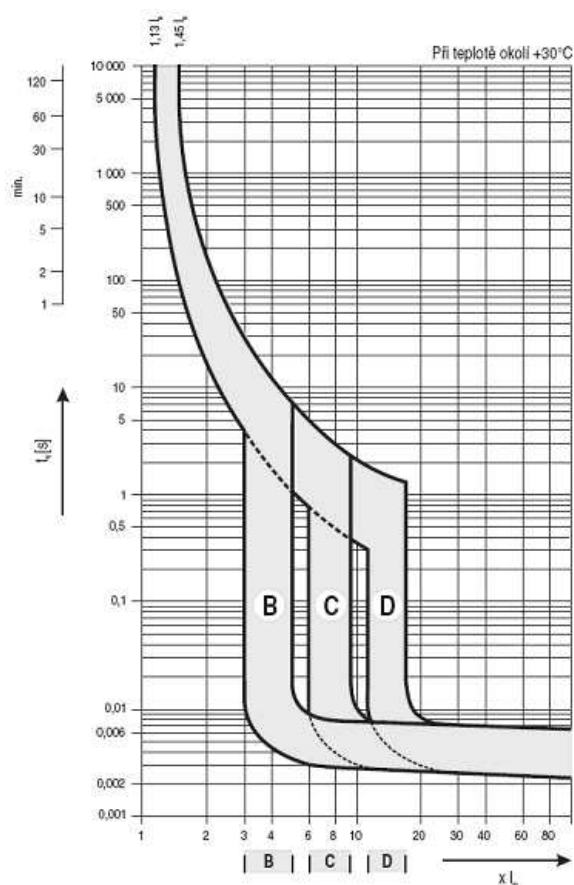
Jističe LSN lze využít pro domovní, komerční a průmyslové elektrické rozvody k bezpečnému jištění kabelů a vodičů proti přetížení a zkratu.

Tab 2) Použité jističe (13A, 6A, 4A) a jejich srovnání [38]

	LSN C4	LSN B6	LSN C13
Jmenovitý proud I_n [A]	4	6	13
Jmenovité pracovní napětí U_e [V]	230/400 V a.c. / 48 V d.c	Ue 230/400 V a.c. / 48 V d.c	Ue 230/400 V a.c. / 48 V d.c
Jmenovitý kmitočet [Hz]	40–60	40–60	40–60
Jmenovitá zkratová schopnost [kA]	15	15	10
Vypínací charakteristika typu	C	B	C
Vnitřní impedance Z [mΩ/pól] ²⁾	98	27	12
Ztrátový výkon [VA/pól] ²⁾	1,55	1	2
Maximální impedance poruchové smyčky Z_s [Ω] ³⁾	6,4	7,7	2

²⁾ Střední hodnoty

³⁾ Pro síť TN, $U = 230$ V, doba odpojení do 0,4 s a podle ČSN 33 2000-4-41



Na obrázku 40 můžeme vidět vypínací charakteristiku jednotlivých typů jističů (B, C, D). Rozdíl jednotlivých typů je v časovém nastavení působení tzv. zkratové spouště. Zkratová spoušť má zamezit případnému poškození elektrického zařízení zkratovým proudem ve velmi krátkém čase. Zde jsou použity typy B a C.

Typ B se používá pro jištění elektrických obvodů se zařízeními, která nezpůsobují proudové rázy a typ C je pro zařízení, která způsobují proudové rázy (motory).

Obr. 40) Vypínací charakteristiky jističů [38]

6.2.2 Total Stop

Spínač sloužící k bezpečnostnímu odpojení napájení v případě nouzového stavu. Prvek se skládá z vnější žluté krabičky s červeným aretačním tlačítkem a vlastním bezpečnostním spínačem.

Konkrétně je zde použit spínač ZEN-L1121 určen pro řídicí a signalizační jednotky. V tabulce č.3 jsou hodnoty jmenovitého provozního proudu I_e při různých napětích.



Obr. 41) ZEN-L1121 [39]

Tab 3) Jmenovitý provozní proud při různých napětích [39]

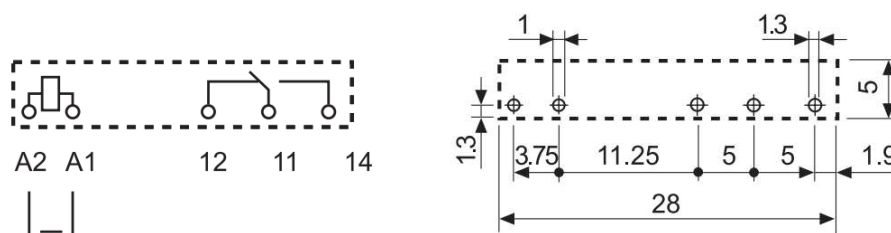
I_e [A]	při U [V]	proud
1,2	600	AC-15
3	240	AC-15
6	120	AC-15
0,1	600	DC-13
0,27	250	DC-13
0,55	125	DC-13

6.2.3 Elektromagnetické relé

Byla použita elektromagnetická násuvná relé značky FINDER s označením 34.51.7.024.0010 pro desky plošných spojů, které má parametry zobrazené v tabulce č.4:

Tab 4) Parametry FINDER 34.51.7.024.0010 [40]

FINDER 34.51.7.024.0010	
Jmenovité napětí cívky	24 V/DC
Řídicí napětí (min./max.)	16.8 V/36 V DC
Odpor cívky	3350 Ω
Typ kontaktu	1 přepínací kontakt
Materiál kontaktu	AgNi
Spínací napětí (max.)	400 V/AC
Spínací proud (max.)	6 A
Spínací výkon (max.)	1500 VA
Připojení (součástky)	Pájecí piny
Teplota (min.)	-40 °C
Teplota (max.)	+85 °C



Obr. 42) Zapojení relé FINDER 34.51.7.024.0010 a jeho rozměry [40]

Toto velmi úzké relé (pouze 5 mm široké) je vhodné připevnit přímo na plošné spoje nebo využít nasunutí na patici. Patice s integrovanými indikačními a odrušovacími EMC členy se připevní na DIN-lištu.



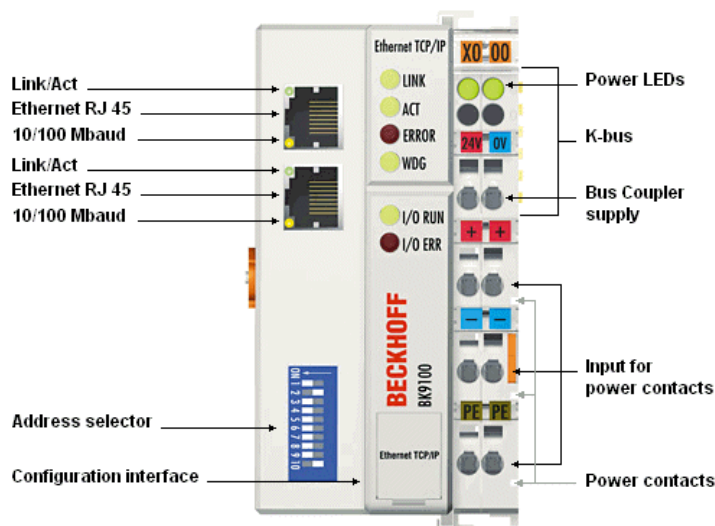
Obr. 43) Elektromagnetické relé FINDER 34.51.7.024.0010 [40]

6.3 Řízení

Byl použit Ethernet Bus coupler firmy Beckhoff verze BK9100. Tento modul podporuje provoz všech typů sběrnicevých terminálů.

6.3.1 Ethernet BK9100

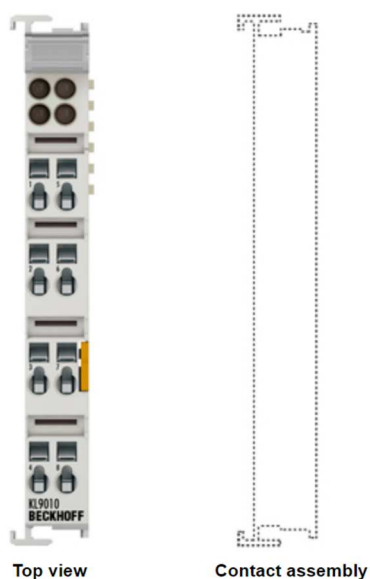
Ethernet TCP/IP Bus Coupler s modulárními rozšiřitelnými elektronickými terminály. Jedna jednotka se skládá z jednoho spojovacího zařízení, libovolných terminálů od 1 až do 64 možných připojení a jedné koncové svorky. S rozšířením K-bus lze připojit až 255 Bus terminálů. [30]



Obr. 44) Bus Coupler BK9100 [30]

6.3.2 Terminál KL9010

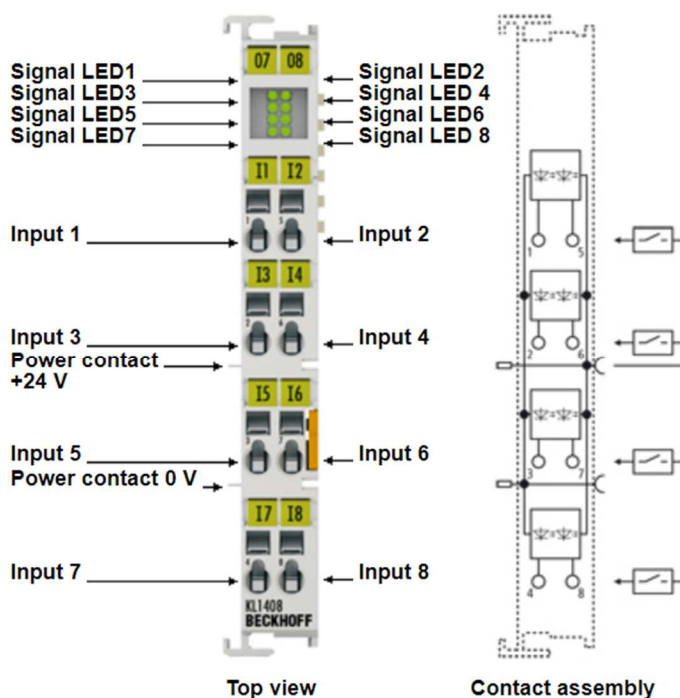
Koncový terminál KL9010 je nezbytný pro výměnu dat mezi Bus Couplerem (Komunikační modul) a Bus Terminaly (Sběrnicevý modul). Každá sestava musí být na jedné straně započata, uvnitř sestavy jsou jednotlivé terminály a na opačné straně zakončena koncovým terminálem. Terminál na sběrnici nemá žádnou jinou funkci nebo připojení než ukončit sestavu. [21]



Obr. 45) Koncový terminál KL9010 [30]

6.3.3 Terminál KL1408

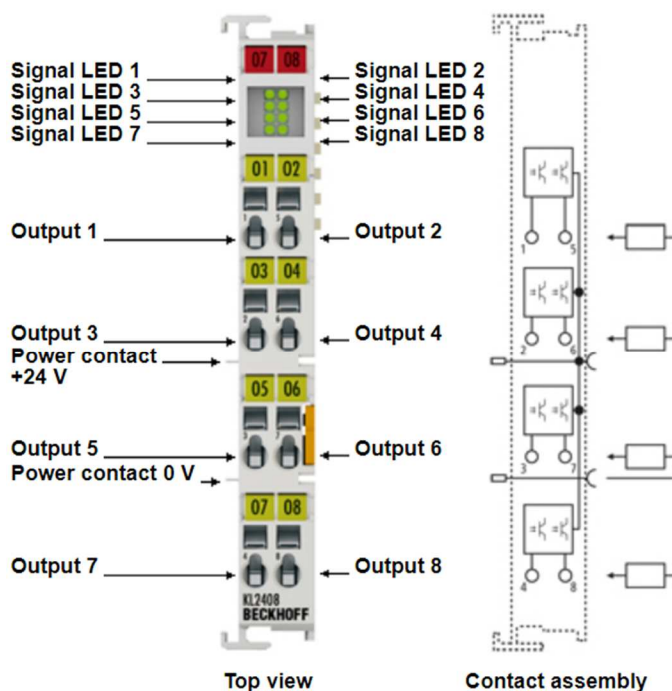
Digitální vstupní terminál KL1408 získává binární řídicí signály (0/1) a přenáší je v elektricky izolované formě do nadřazené automatizační jednotky. Terminál obsahuje 8 kanálů, které signalizují svůj stav signálu pomocí světelných diod v horní části terminálu. Napájecí kontakty jsou propojeny a je zde referenční zem pro všechny vstupy (0 V). Proto všechny senzory jsou napájeny stejnosměrným napětím 24 V a výstupy ze senzorů jdou na jednotlivé kanály. [30]



Obr. 46) Digitální vstupní terminál KL1408 [30]

6.3.4 Terminál KL2408

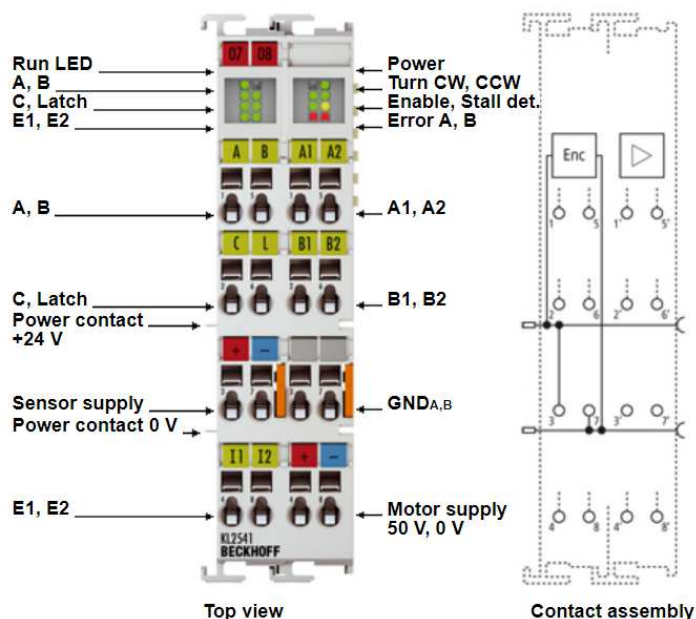
Digitální výstupní terminál KL2408 spojuje binární řídicí signály (0/1) z PLC jednotky s jednotlivými akčními členy. Je chráněn proti prepólování a zpracovává zátěžové proudy s výstupy, které jsou chráněny proti přetížení a zkratu. Sběrníkový terminál obsahuje 8 kanálů, které signalizují svůj stav pomocí světelných diod v horní části terminálu. Technologie připojení je optimalizována pro jednostranné vstupy. Všechny komponenty musí používat stejný referenční bod jako KL2408. Napájecí kontakty jsou propojeny. Výstupy jsou napájeny 24 V napájecím kontaktem. [30]



Obr. 47) Digitální výstupní terminál KL2408 [30]

6.3.5 Terminál KL2541

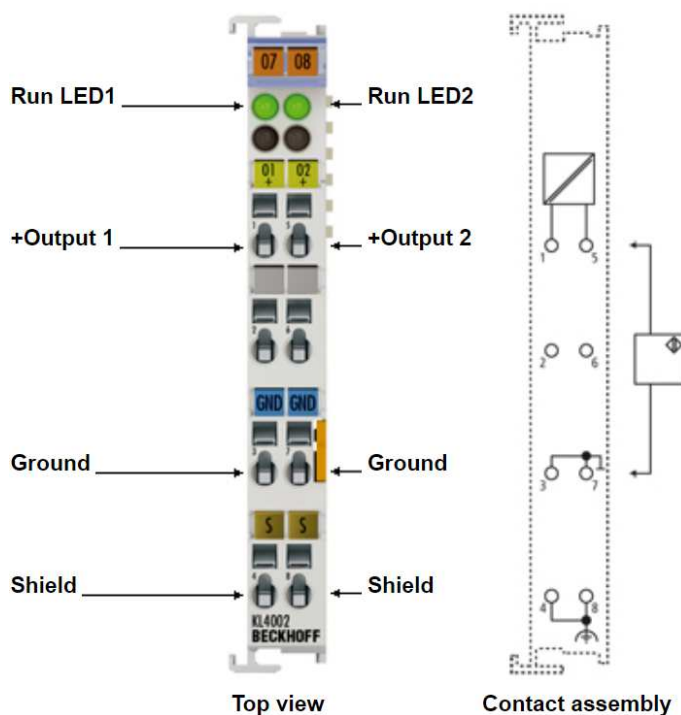
Sběrníkový terminál KL2541 je určen pro řízení krokových motorů středních výkonů. Výstupní fáze PWM regulátoru umožňuje napájení krokových motorů stejnosměrným napětím 8-50 V a maximálním proudem 5 A. Obsahuje vstupy pro dva koncové snímače a připojení jednoho enkodéru. Driver je schopen plného kroku, polovičního kroku a mikrokrokování až do 1/64 kroku. [30]



Obr. 48) Driver krokových motorů KL2541 [30]

6.3.6 Terminál KL4002

Analogový výstupní terminál KL4002 generuje signály v rozsahu 0 až 10 V. Napětí je dodáváno na úroveň procesu s rozlišením 12 bitů a je elektricky izolováno. Výstupní kanály sběrníkového terminálu mají společný nulový potenciál. KL4002 v jednom krytu kombinuje dva kanály. Provozní LED diody indikují výměnu dat s Bus Coupler. [30]



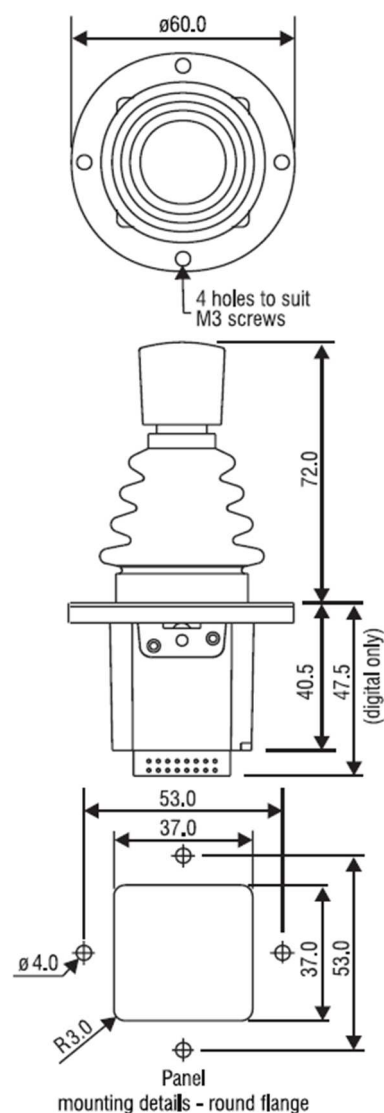
Obr. 49) Analogový výstupní terminál KL4002 [30]

6.4 Joystick JC 400

Dvouosý joystick firmy P&G controls s označením JC400-A-XY-RR-MA-ZCS-S-P. Kdy JC400 značí model a následující znaménka určují jednotlivé parametry:

- A – kruhový tvar bez vložky (Způsob montáže)
- XY – dvě osy ve směru X a Y (Osy)
- RR – rozsah (Osy)
- MA – dvě osy ve směru X a Y (Osy)
- ZCS – dvě osy ve směru X a Y (Osy)
- S – montážní otvor tvaru čtverce (Montážní otvor)
- P – sedlo je preferováno (Sedlo)

JC400 nabízí proporcionální nebo digitální ovládání prstem ve dvou osách. Analogový výstup lze nakonfigurovat na poskytování signálu obvodům pro detekci poruch uvnitř ovladače. Absence mikrospínačů a vačkové hřídele eliminuje nutnost potřeby údržby joysticku po celou dobu jeho provozu.



Obr. 50) Joystick JC 400 [43]

Tab 5) Způsob zapojení joysticku JC 400 [43]

Funkce	Osa	Barva vodiče	Osa	Barva vodiče
Kladné napájecí napětí (+V)	X	Oranžová	Y	Zelená
Nulové napájecí napětí (0V)		Červená		Bílá
Středový čep		Šedá		Hnědá
Výstupní napětí		Žlutá		Černá
N/O rukojeť v kladném směru		Oranžová/ Černá		Růžová/ Černá
N/O rukojeť v záporném směru		Červená/ Černá		Zelená/ Červená
N/C rukojeť ve středové poloze		Oranžová/ Červená		Červená/ Hnědá
Společný terminál pro směrové spínače		Fialová/ Červená		Žlutá/ Zelená

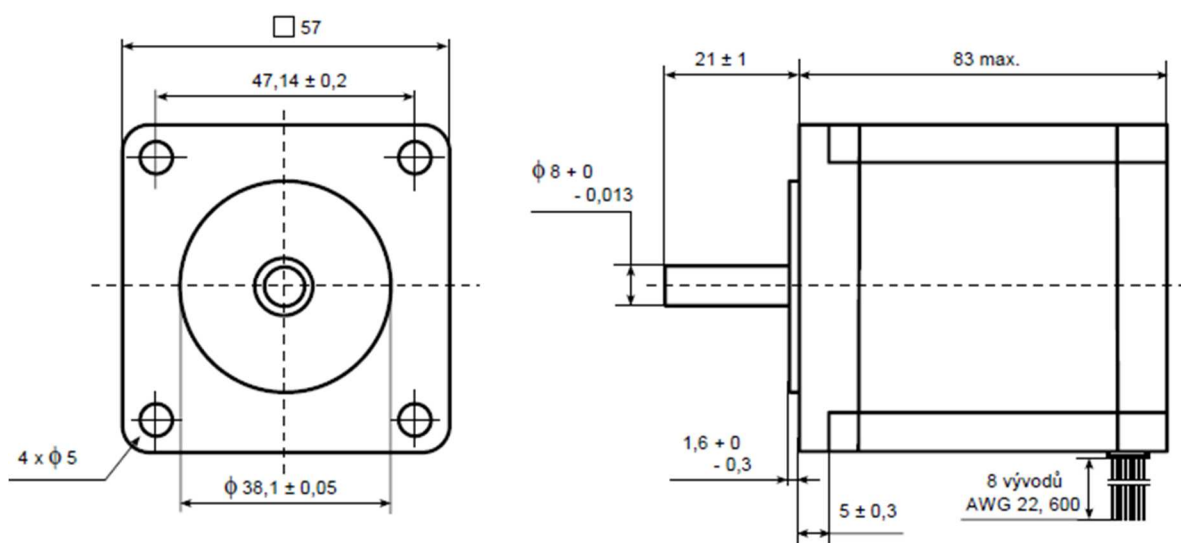
Červeno-zelený a bílo-černý vodič je určen pro spínání horního tlačítka na Joysticku.

6.5 Pohony SX23-2727

Hybridní dvoufázový krokový motor Microcon řady SX s přírubou NEMA23 a označením SX23-2727. Vyznačují se vysokými momenty při zachování malých rozměrů a mají standardní délky kroku $1,8^\circ$. Obsahuje 8 vývodů pro napájení jednotlivých cívek, čímž je možné bipolární i unipolární zapojení vinutí. [28]

Parametry motoru SX23-2727:

- Statický moment 2,7 Nm
- Jmenovitý proud 2,7/5,4 A (sériové/paralelní zapojení)
- Indukčnost 6,4/1,6 mH (sériové/paralelní zapojení)
- Odpor 1,5/0,375 Ω (sériové/paralelní zapojení)
- Moment setrvačnosti rotoru 0,053 $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 10^{-3}$
- Hmotnost 1,18 kg



Obr. 51) Krokový motor SX23-2727 [28]

Tab 6) Způsoby zapojení krokového motoru SX23-2727 [28]

Zapojení vinutí	Bipolární sériové	Bipolární paralelní	Unipolární
+V			červený s hnědým, žlutým a zeleným
A	oranžový	oranžový + hnědý	oranžový
/A	černý	červený + černý	černý
B	modrý	modrý + zelený	modrý
/B	bílý	žlutý + bílý	bílý

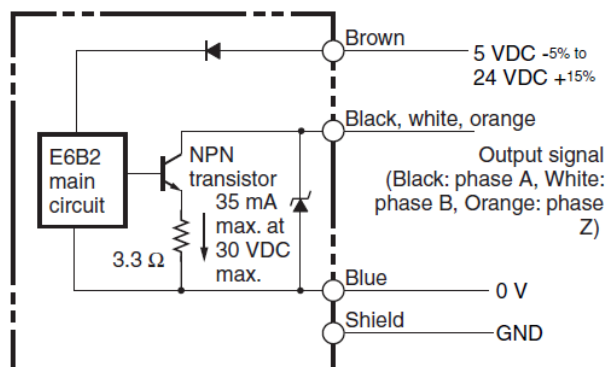
Červený, hnědý, žlutý a zelený vodič se v případě zapojení bipolárního sériového vinutí nepřipojuje k výkonovému zesilovači.

6.6 Enkodér E6B2-CWZ6C

Enkodéry značky Omron typ E6B2-CWZ6C. Jedná se o zařízení inkrementálního odměřování. Jeho vnější průměr je 40 mm a výstupní hřídel má průměr 6,35 mm. Kdy dává 2000 impulzů za otáčku. Tento typ obsahuje 5 vývodů, kdy 2 vývody slouží jako vstupní napájení a 3 vývody slouží jako výstupy jednotlivých signálů.

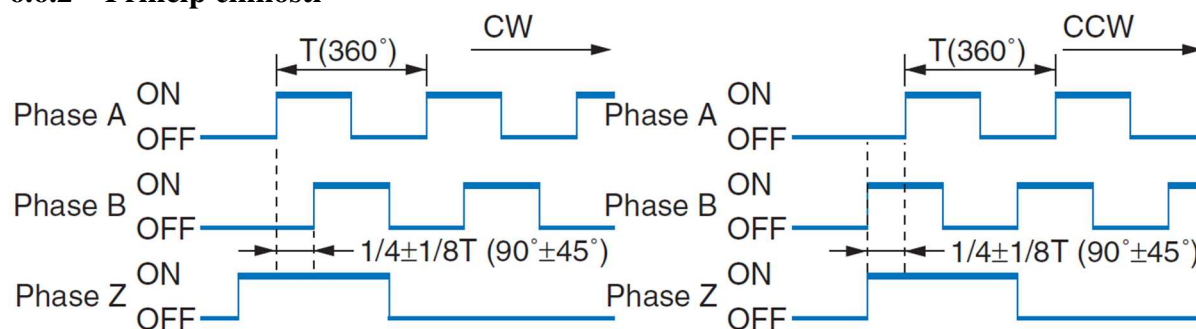
6.6.1 Způsob zapojení

- **Hnědý** (Brown) – napájení (5-24 VDC)
- **Černý** (Black) – výstupní fáze A
- **Bílý** (White) – výstupní fáze B
- **Oranžový** (Orange) – výstupní fáze Z
- **Modrý** (Blue) – 0 V



Obr. 52) Model Enkodéru E6B2-CWZ6C [32]

6.6.2 Princip činnosti



a) CW = po směru hodinových ručiček

b) CCW = proti směru hodinových ručiček

Obr. 53) Výstupní signály z enkodéru [32]

Symbol T v diagramu znázorňuje jedno celé otočení enkodéru. Symboly ON a OFF jsou v diagramu výstupní napětí z jednotlivých fází. Fáze A a B určují smysl otáčení a fáze Z dává impuls každé otočení.

- Při rotaci po směru hodinových ručiček fáze A předbíhá fázi B o $1/4 T \pm 1/8 T$, tedy o $90^\circ \pm 45^\circ$.
- Při rotaci proti směru hodinových ručiček fáze B předbíhá fázi A o $1/4 T \pm 1/8 T$, tedy o $90^\circ \pm 45^\circ$.

6.7 Frekvenční měnič FC-301

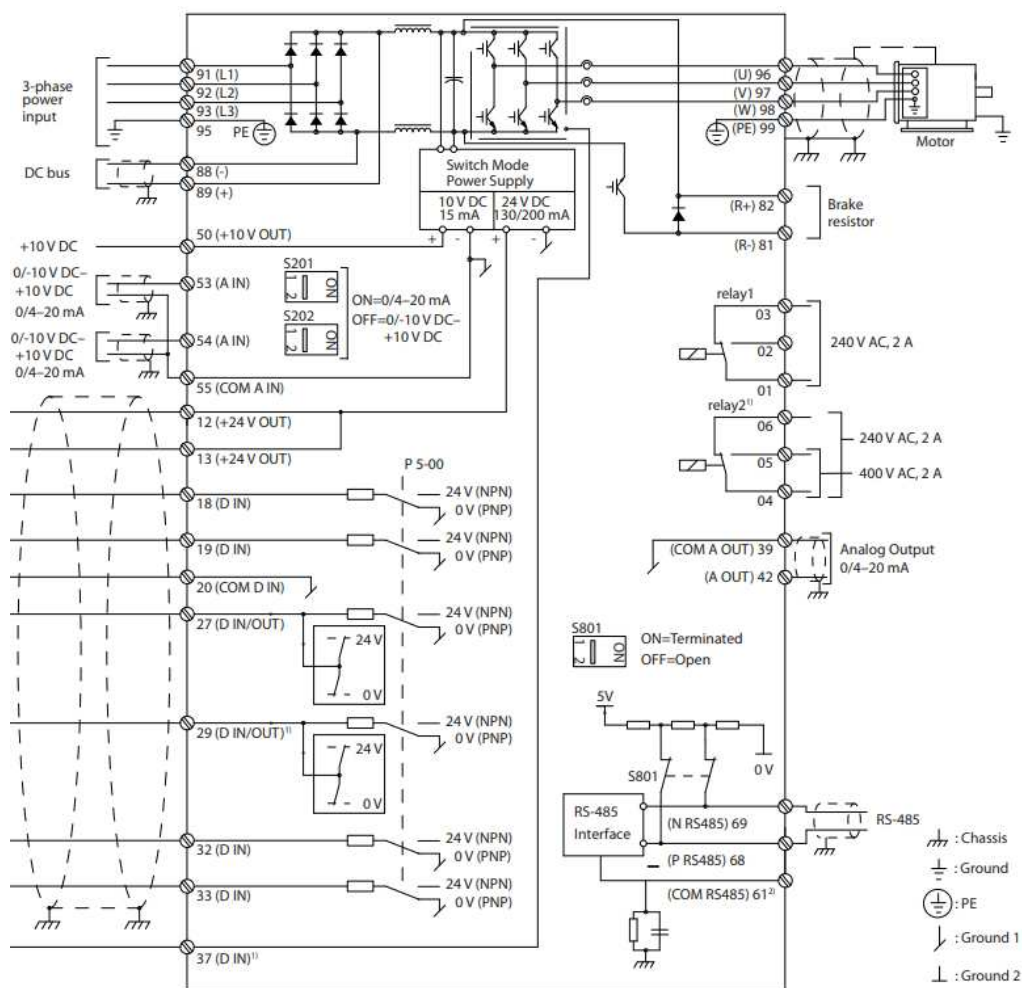
Frekvenční měnič Danfoss VLT Automation Drive FC-301P1K1. Vybavený elektronickou brzdou a grafickou jednotkou pro regulaci. Jednotlivé parametry jsou znázorněny v tabulce č.7.

Tab 7) Parametry frekvenčního měniče FC-301 [44]

Výrobce	Danfoss VLT Automation Drive
Označení	FC-301P1K1T2E20H1BGXXX XSXXXXXAXBXCXXXXDX
Typ	FC-301
Jmenovitý výkon	1,1 kW
Vstupní napájení	3x 200-240 V, 50/60 Hz, 5,9 A
Výstupní napětí	3x 0-Vin, 0-1000 Hz, 6,6 A, 2,38 kVA
Stupeň ochrany	IP20
EMC filtr	Třída A1/B
Bezpečné zastavení	s elektronikou brzdy
Řídicí jednotka	grafická řídicí jednotka
Účinnost	0,96



Obr. 54) Frekvenční měnič FC-301 [43]



Obr. 55) Schéma zapojení frekvenčního měniče FC-301 [42]

6.8 Vřeteno Atas FT4C52R

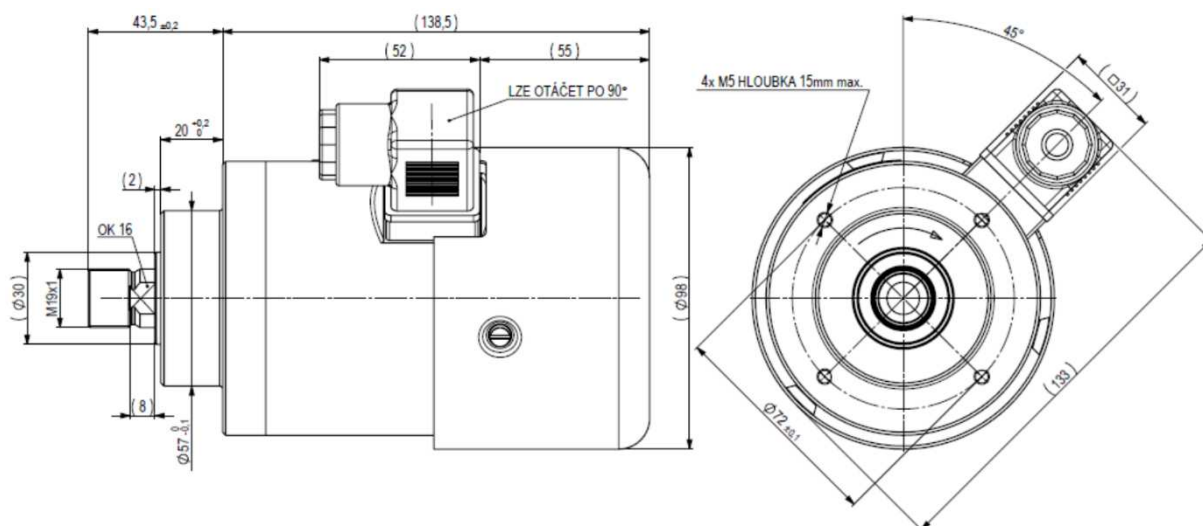
Trífázový asynchronní motor od firmy ATAS elektromotory Náchod a.s. model FT4C52R. Motor je určen k pohonu obráběcího vřetene malého výkonu. Napájení motoru 3-fázovým napětím 230V o kmitočtu 400Hz z frekvenčního měniče. Je-li vyžadováno přísnější dodržování norem EMC, jsou nutná další opatření dle výrobce frekvenčního měniče.

Tab 8) Parametry vřetene Atas FT4C52R [46]

Výrobce	ATAS elektromotory Náchod a.s.
Typ	FT4C52R
Měnič	230 V / 400 Hz
Otáčky	23700 ot./min
Krytí	IP44
Smysl otáčení	CW/CCW
Výkon	500 W
Kleština	ER16



Obr. 56) Vřeteno Atas FT4C52R [45]



Obr. 57) Schéma vřetene Atas FT4C52R [44]

7 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

7.1 Plošný spoj

Ke zlepšení stability stejnosměrného zdroje pro napájení krokových motorů bylo třeba vyměnit původní jeden kondenzátor o malé kapacitě za kondenzátory o větší kapacitě. Proto byl zrealizován plošný spoj pro spojení 4 polarizovaných kondenzátorů, kdy jeden měl kapacitu $C = 10000 \mu\text{F}$. Tedy celková kapacita propojených kondenzátorů plošným spojem činí $C = 40000 \mu\text{F}$.



Obr. 58) Stabilizační kondenzátory na DPS

7.2 Příprava komponent

Pro prototypové zapojení bylo využito vytvořených součástek z plastu pomocí 3D tiskáren a dřevěných výstupů.

7.2.1 Uchycení transformátoru

Pro uchycení transformátoru do rozvaděče byl vytištěn držák z PLA plastu. Držák je navržen pro pevné uchycení transformátoru, a tedy zamezuje jeho veškerému pohybu (posuv, rotace, ...).



Obr. 59) Držák transformátoru



Obr. 60) Spojka motoru

7.2.2 Spojka motoru

Pro spojení hřídele krokového motoru a enkodéru, kdy motor má hřídel o průměru 8 mm a enkodér pouze 6,35 mm, byly z PLA plastu vytištěny jednoduché spojky pro účely testování.

7.2.3 Výstup rozvaděče

Byly vytvořeny 2 výstupní kryty z rozvaděče osazené svorkovnicemi s popsány výstupy pro následné snadné připojení ke stroji.

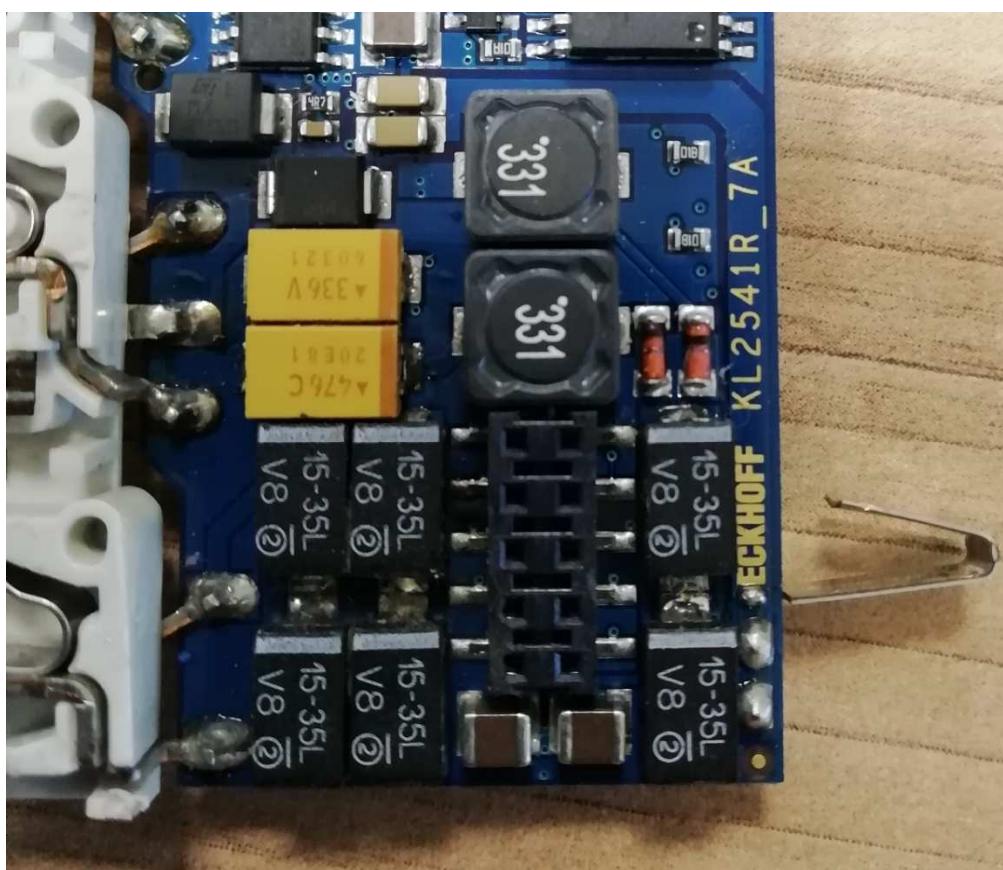


Obr. 61) Výstup rozvaděče

7.3 Oprava jednoho PLC terminálu KL2541

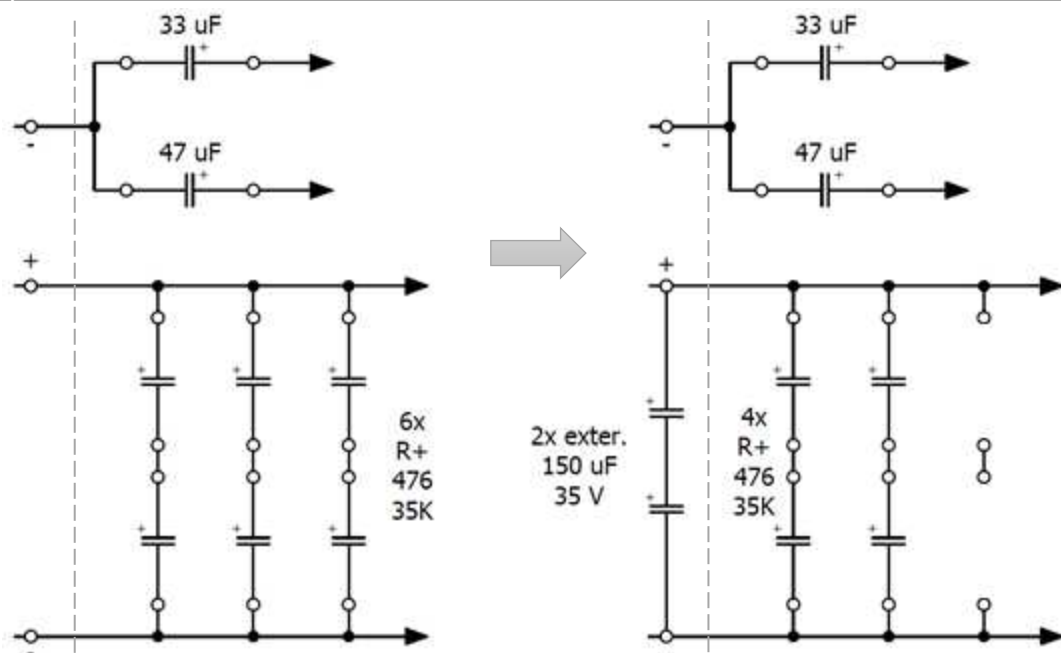
Po prvním spuštění PLC a přivedení stejnosměrného napětí 48 V na karty ovládající krokové motory ihned jedna z trojice karet způsobovala zkrat v obvodu a docházelo tedy k okamžitému odpojení karty od elektrického zdroje pomocí jističe.

Karta byla demontována z rozvaděčové skříně a po kontrolním přeměření rozebrána na jednotlivé plošné spoje. Kdy se karta skládá ze dvou oboustranných plošných spojů (levý – pro zpětnou vazbu, pravý – napájení motorů). Následně byly odpájeny všechny kondenzátory na vstupní části terminálu pro napájení krokového motoru. Po proměření všech demontovaných kondenzátorů byla nalezena poškozená dvojice, která byla odstraněna a zbylé funkční kondenzátory byly připájeny zpět do plošného spoje. Kdy aktuálně na plošném spoji tato vadná dvojice chybí a byla nahrazena vnější dvojicí kondenzátorů na 35 V a kapacitou 150 μF . Karta byla opět smontována, nainstalována zpět do rozvaděčové skříně a otestována na nižším napětí 24 V, kde nevykazuje žádné známky poškození.



Obr. 62) Detail plošného spoje karty Beckhoff KL2541

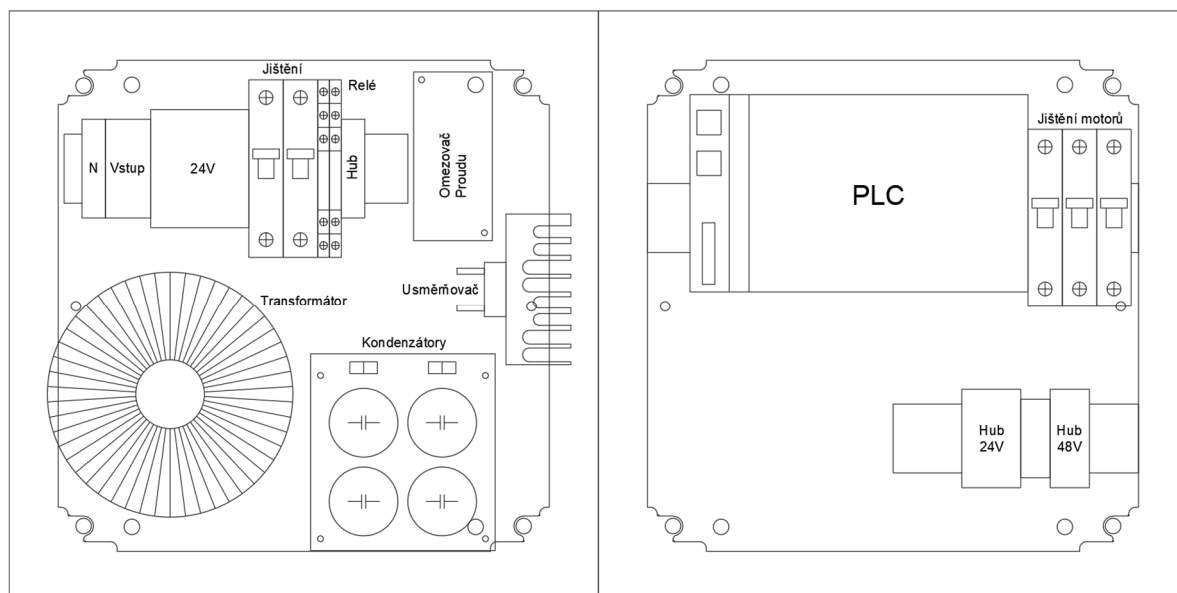
Původní šestice kondenzátorů KEMET T495 Series s vyznačenými parametry R+ (Low ESR device + Polarity Indicator), kapacitou 47 μF , napětím 35 V a rozměry 7,3x4,3x4 (DxŠxV). Tyto kondenzátory v minulosti již byly vyměněny za nové o nižší kapacitě, jak je vidět na fotografii č.62. Nyní je tedy použito pouze 4 těchto vnitřních kondenzátorů doplněných o dvojici vnějších kondenzátorů. Tato změna je znázorněna na následujícím schématu (obr. 63).



Obr. 63) El. schéma zapojení kondenzátorů karty KL2541

7.4 Montáž rozvodné skříně

Pro tento prototypový případ byly použity 2 rozvaděčové skříně o velikosti 30x30 cm, kdy do jedné byly umístěny všechny zdroje napětí a do druhé byly rozmístěny prvky pro samotné řízení CNC stroje. Následně po zkratování jedné z karet KL2541 byl do elektrického obvodu připojen externí zdroj stejnosměrného napětí 24 V pro napájení krokových motorů, který už se vzhledem ke svým rozměrům do rozvaděčové skříně nevešel a nahradil funkci 48 V zdroje. Před samotnou instalací komponent byl proveden návrh rozložení v rozvaděči, který je vidět na následujícím obrázku č.64.



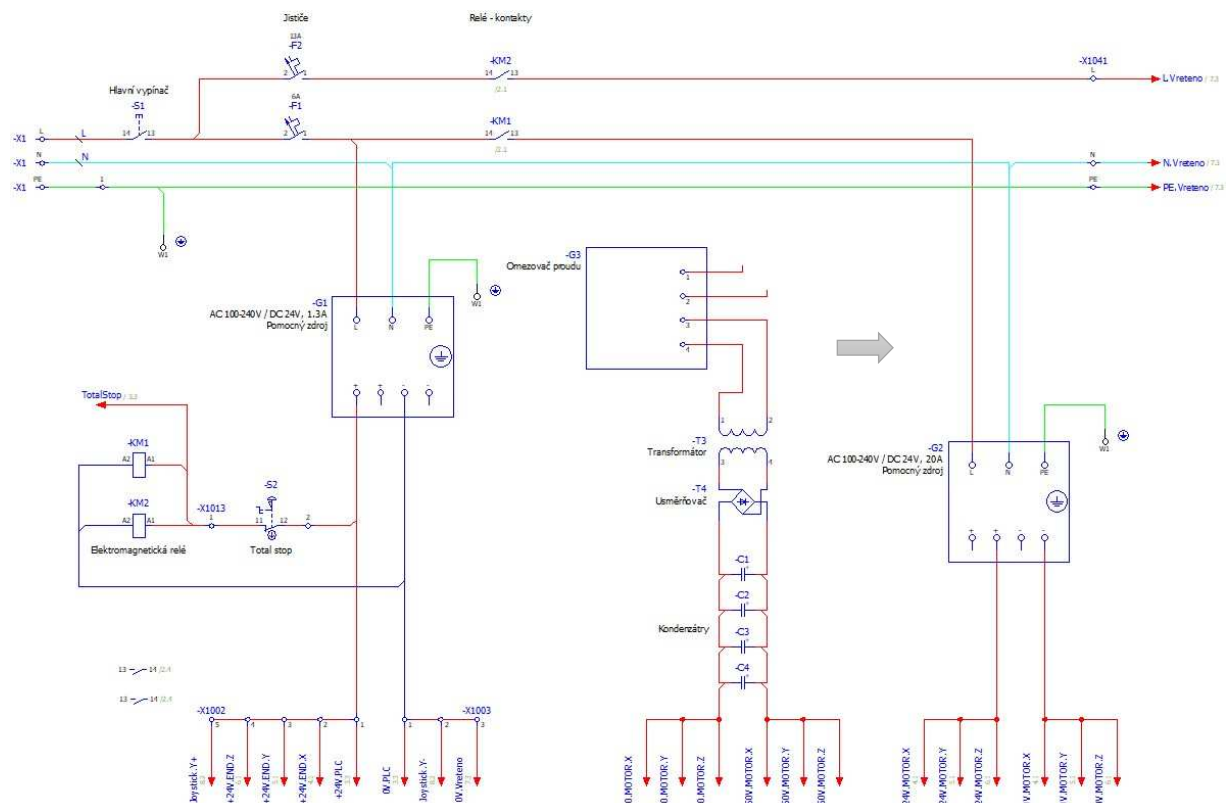
Obr. 64) Rozložení rozvaděče

Pro snadnější manipulaci byly skříně připevněny na společnou dřevotřískovou desku. Kdy mimo tento rozvaděč je umístěn již zmíněný 24 V zdroj pro napájení krokových motorů a frekvenční měnič pro napájení vřetene frézky.

V rozvaděči i vně jsou všechny vodiče na svých koncích řádně označeny pro snadnější orientaci v elektrickém obvodu a v případě nutnosti, či samovolného odpojení je zajištěno jednoduché připojení zpět na správné místo.

7.5 Zapojení

Kompletní elektrická schémata v plném rozlišení jsou umístěna v příloze. Zde na obrázcích níže jsou znázorněny pouze náhledy na jednotlivé obvody pro lepší představu o dané problematice.



Obr. 65) Elektrické schéma napájení

Obvod je napájen z jednofázové sítě 230 V, 50 Hz. Kdy z počátku je fáze hned rozdělena a jištěna (frekvenční měnič – 13 A, ostatní – 6 A). Za 6 A jističem jsou pomocné zdroje napětí, kdy hned z počátku je napětí redukováno na stejnosměrné napětí 24 V pro napájení PLC a všech ostatních elektrických komponent vyjma motorů. Obvod dále za jističem (6 A) prochází skrz elektromagnetické relé, které slouží jako bezpečnostní prvek při stisknutí nouzového tlačítka “Total stop“. Tlačítko “Total stop“ zde plní funkci, kdy při stisknutí ihned odpojí frekvenční měnič a krokové motory od zdroje elektrického napětí.

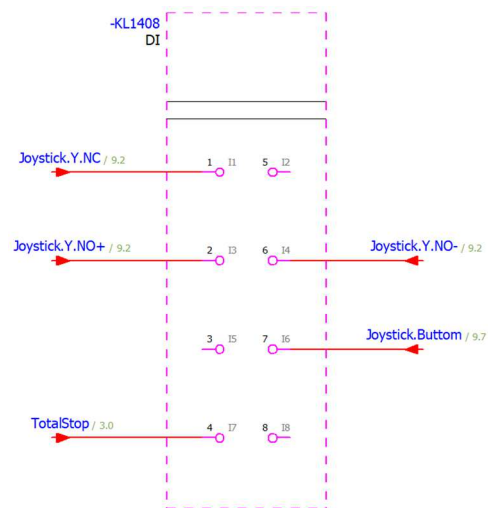
Pokračování obvodu slouží jako zdroj napětí pro krokové motory, kdy jsou zde 2 možnosti zapojení. Využití zdroje vyššího napětí 48 V skládajícího se z několika prvků (omezovač proudu, transformátor, usměrňovač, kondenzátory) nebo průmyslového zdroje napětí 24 VDC 20 A. Tyto zdroje nesmí být zapojeny souběžně, tedy v činnosti může být pouze jeden z nich. Původně byl obvod napájející krokové motory připojen pouze na vyšší napětí, ale po zkratu jedné z karet byl zdroj odpojen a nahrazen stejnosměrným zdrojem na 24 V.

7.5.1 Digitální vstupy

Na digitální vstupy (0/1) je využita karta Beckhoff KL1408, kdy na ni jsou přivedeny pulzy od Joysticku a tlačítka Total stop.

Tab 9) Připojované piny ke kartě Beckhoff KL1408

Č. pinu:	Funkce:
1	Joystick – středová poloha
3	Joystick – kladný směr
4	Joystick – záporný směr
6	Joystick – tlačítko
7	Total stop



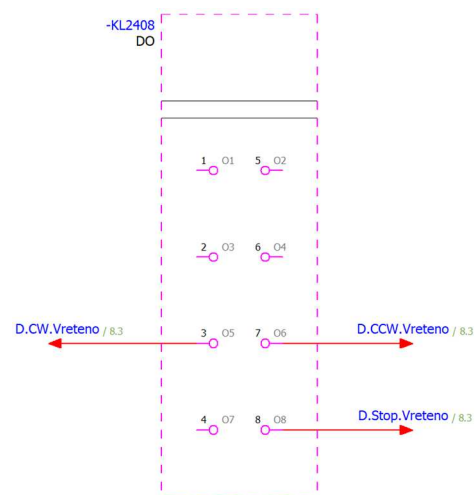
Obr. 66) Elektrické schéma zapojení karty Beckhoff KL1408

7.5.2 Digitální výstupy

Na digitální výstupy (0/1) je využita karta Beckhoff KL2408, kdy vydává pulzy do frekvenčního měniče pro řízení smyslu otáčení a zastavení vřetene.

Tab 10) Připojované piny ke kartě Beckhoff KL2408

Č. pinu:	Funkce:
5	Vřeteno – po směru hodinových ručiček
6	Vřeteno – proti směru hodinových ručiček
8	Vřeteno – zastavení

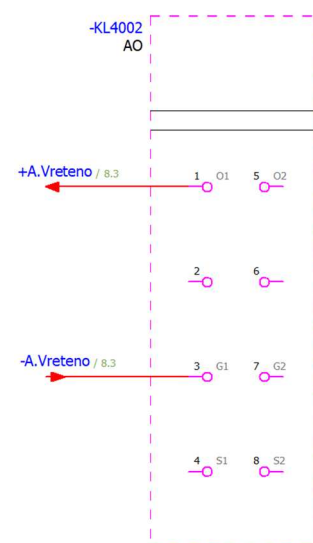


Obr. 67) Elektrické schéma zapojení karty Beckhoff KL2408

7.5.3 Analogové výstupy

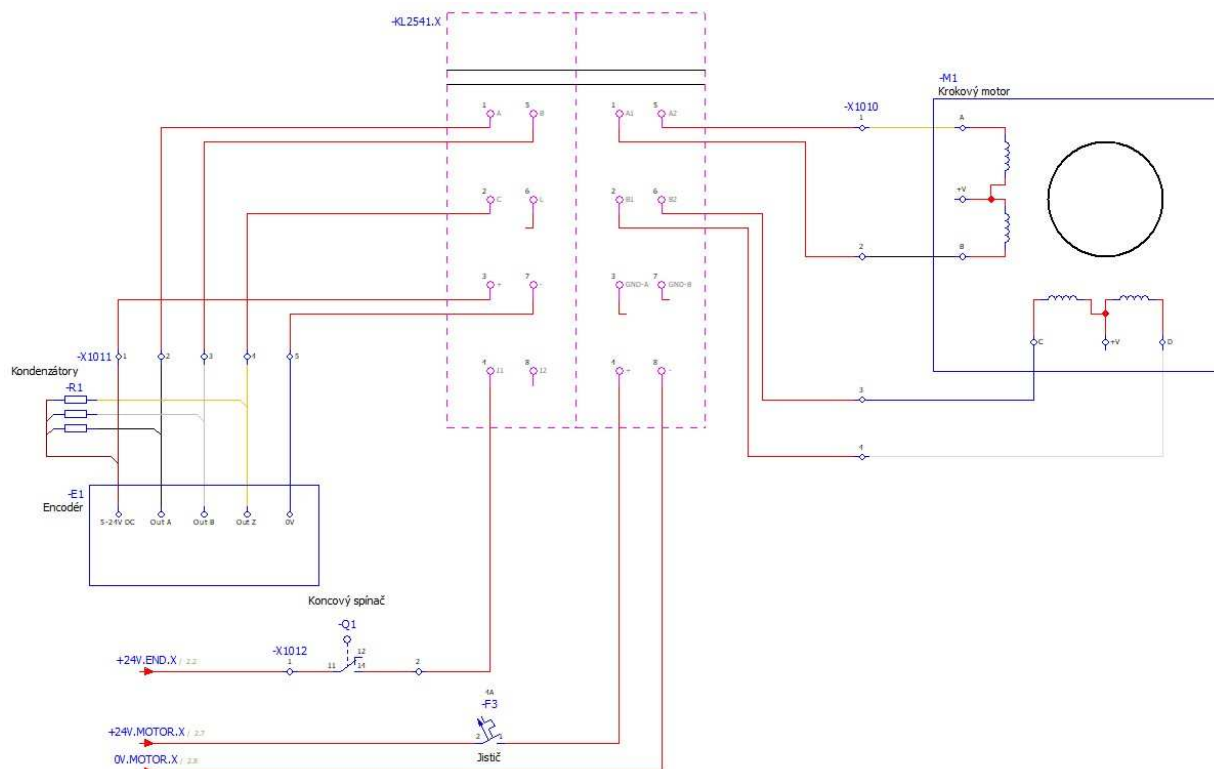
Na analogové výstupy je využita karta Beckhoff KL4002, kdy vydává analogový signál v rozsahu napětí 0-10 V do frekvenčního měniče pro ovládání rychlosti vřetene.

Frekvenční měnič je připojen na kanál 1, kdy na pinu O1 je kladné napětí a na pinu G1 je napětí nulové.



Obr. 68) Elektrické schéma zapojení karty Beckhoff KL4002

7.5.4 Zapojení motorů



Obr. 69) Elektrické schéma zapojení karet Beckhoff KL2541

Karta na Beckhoff KL2541 je určena na ovládání krokových motorů se zpětnou vazbou od enkodéru. Tato karta je složena z dvou částí, kdy levá část slouží k příjmu zpětné vazby od enkodéru a také 2 digitální vstupy od koncových spínačů. Pravá část slouží k napájení krokových motorů. Krokové motory umožňují všechny způsoby zapojení vinutí, pro tuto aplikaci bylo zvoleno bipolární sériové zapojení vinutí motoru.

Tab 11) Připojované piny ke kartě Beckhoff KL2541

Název pinu (č.):	Funkce:
A (1)	Enkodér – (A)
B (5)	Enkodér – (B)
C (2)	Enkodér – impuls za otáčku (Z)
+	Enkodér – napájení (24V)
- (7)	
I1 (4)	Referenční spínač
A1 (1')	Motor – vinutí
A2 (5')	
B1 (2')	
B2 (6')	Motory – napájení
+	
- (8')	

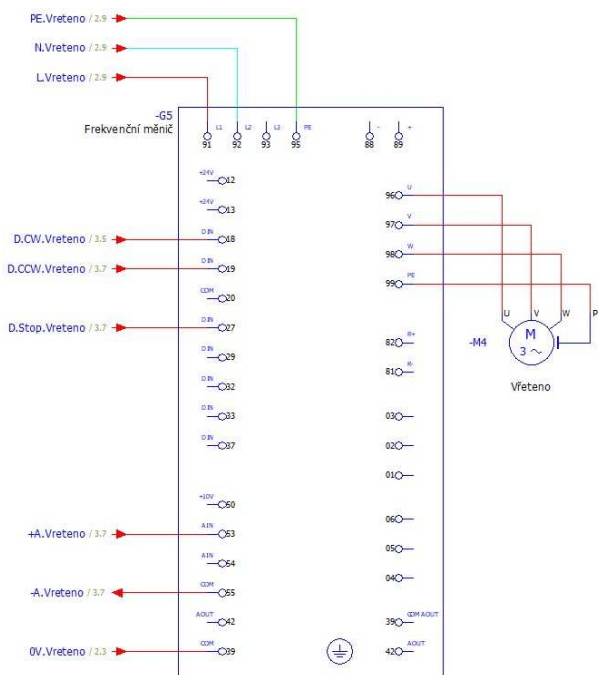
7.5.5 Zapojení vřetene

Nutno zvolit napěťové vstupy na frekvenčním měniči pro regulaci rychlosti otáček řízené z analogové karty KL4002.

Frekvenční měnič je napájen z jednofázové sítě a generuje třífázové napětí pro elektrovřeteno. Rychlost je řízena analogově změnou napětí v rozsahu 0-10 V. Směr otáčení je spouštěn přivedením napětí na příslušné vstupy. Pin 27 musí mít pod napětím, aby se motor mohl otáčet. Piny 18 a 19 určují směr otáčení.

Tab 12) Připojované piny k frekvenčnímu měniči

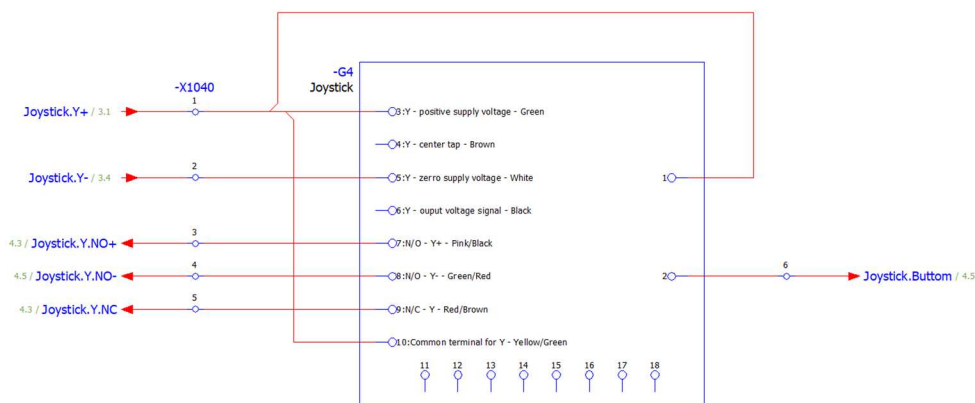
Č. pinu:	Funkce:
91	Napájení – L (fáze)
92	Napájení – N (střední vodič)
95, 99	Uzemnění
96	Vřeteno – U
97	Vřeteno – V
98	Vřeteno – W
18	Digitální signál – CW
19	Digitální signál – CCW
27	Digitální signál – stop
39	0V
53	Analogový signál – kladný
55	Analogový signál – nula



Obr. 70) Elektrické schéma zapojení frekvenčního vřetene

7.5.6 Zapojení joysticku

Pro jednoduché vzdálené ovládání je připojen Joystick JC400. Umožňující tlačítkem změnu rychlosti a pohybem vychýlením joysticku ze středové polohy v ose Y joysticku.



Obr. 71) Elektrické schéma zapojení joysticku

Tab 13) Připojované piny k joysticku JC400

Č. pinu:	Funkce:	Barva vodiče:
1	+24V	Bílá/černá
3		Zelená
10		Žlutá/zelená
5	0V	Bílá
7	Y +	Růžová/černá
8	Y -	Zelená/ červená
9	Y (středová poloha)	Červená/hnědá
1	Tlačítko	Červená/zelená

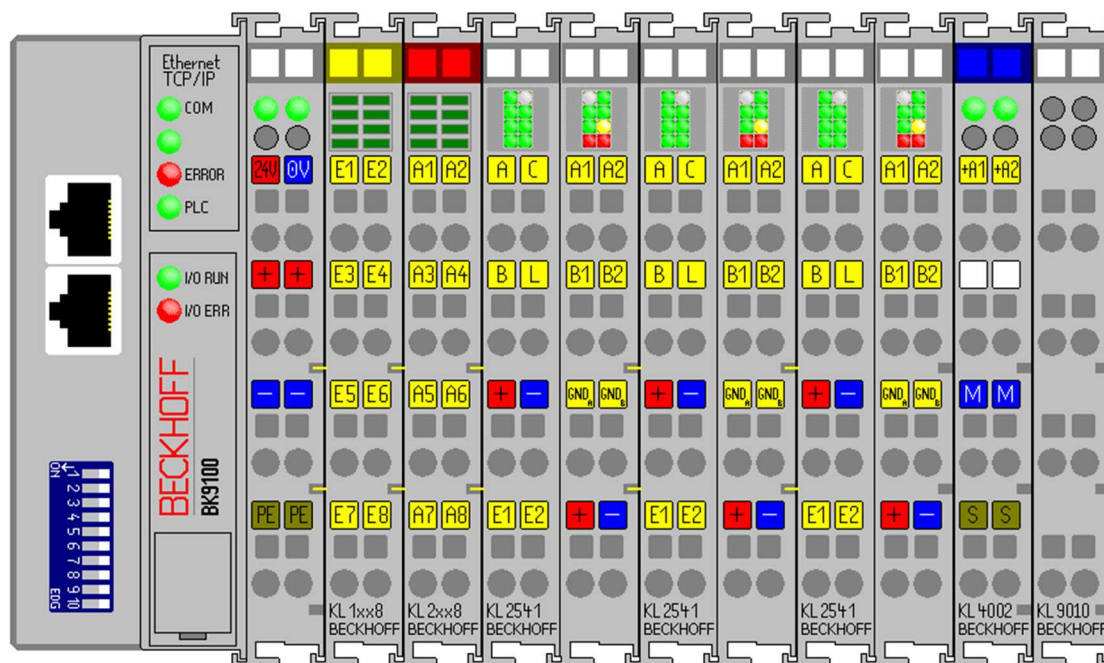
7.6 Nastavení

7.6.1 Bus Coupler

Jednotlivé terminály PLC jsou poskládány následujícím způsobem:

- BK9100 – Bus Coupler
- KL1408 – Digitální vstupy
- KL2408 – Digitální výstupy
- KL2541 – Driver krokových motorů s enkodérem (osa Z)
- KL2541 – Driver krokových motorů s enkodérem (osa Y)
- KL2541 – Driver krokových motorů s enkodérem (osa X)
- KL4002 – Analogové výstupy
- KL9010 – Koncový terminál

Nutnou podmínkou uspořádání je, aby analogová karta KL4002 byla na konci, jelikož neobsahuje propojovací můstky zajišťující přenos el. energie mezi terminály a tedy by nebyla zaručena správná funkce terminálů umístěných za touto kartou.



Obr. 72) Uspořádání PLC Beckhoff

7.6.2 Natavení karty KL2541

K zapsání jednotlivých parametrů karet PLC bylo využito softwaru “KS2000 .v5“. Na kartách KL2541 zde byly nastaveny parametry motorů a enkodérů. Jelikož jsou využity na všech 3 osách stejné komponenty, tak jsou parametry na všech 3 kartách KL2541 totožné.

Tab 14) Základní nastavené parametry karty KL2541

Mikrokrokování	1/64
Počet plných kroků motoru na otáčku	200
Počet inkrementů enkodéru	2000

The screenshot shows the KS2000 software interface for configuring the KL2541 card. The 'Operation mode' is set to 'speed, direct'. The 'General' section has several checkboxes, with 'Watchdog timer active' and 'Encoder position feedback' checked. The 'Register values' section contains various numerical parameters for motor and encoder settings.

Parameter	Value
maximum coil current A	20 %
maximum coil current B	20 %
number of latch values	1
minimum speed	8
maximum speed	8
maximum acceleration	128
maximum deceleration	2047
maximum emergency acceleration	2047
acceleration threshold	1023
load angle threshold	7
coil current, a > a (th)	100 %
coil current, a <= a (th)	100 %
coil current, v = 0 (automatic)	50 %
coil current, v = 0 (manual)	50 %
number of impulses per revolution	1
number of motor fullsteps	200
number of encoder increments	2000

Obr. 73) Nastavené hlavní parametry karty KL2541

7.6.3 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je nutné nastavit dle parametrů elektromotoru. Motor je zvolen Atas FT4C52R a frekvenční měnič Danfoss VLT Automation Drive FC-301P1K1. Pro jednodušší a přehlednější nastavování parametrů zadávaných do frekvenčního měniče lze využít software “MTC 10 Set-up Software“. V programu lze provádět změny přímo (online) nebo uložením do projektu, kdy si projekt můžeme připravit, naladit a následně ho je možné kdykoliv otevřít a nahrát do frekvenčního měniče se všemi parametry a ihned používat. Soubor s parametry nastavení pro tuto aplikaci je umístěn v příloze, kdy je stačí jen nahrát do frekvenčního měniče.

Pro prvotní nastavení je vhodné frekvenční měnič vrátit zpět do továrního nastavení, aby byly zapomenuty všechny předchozí varianty nastavení a nedocházelo k nežádoucím jevům. Zde se reset všech parametrů provádí v okně 14-22 Operation Mode (Special Functions => Trip Reset => Operation Mode), kdy je třeba změnit parametr na [2] Initialisation. Aby byla

tato operace správně provedena frekvenční měnič je následně třeba vypnout a po chvilce opět zapnout. Tato operace nemusí proběhnout správně v případě, že je frekvenční měnič v chybovém stavu. Tehdy je třeba zařízení zbavit chybového stavu (Reset) a provést tyto operace znovu.

Tab 15) Parametry frekvenčního měniče

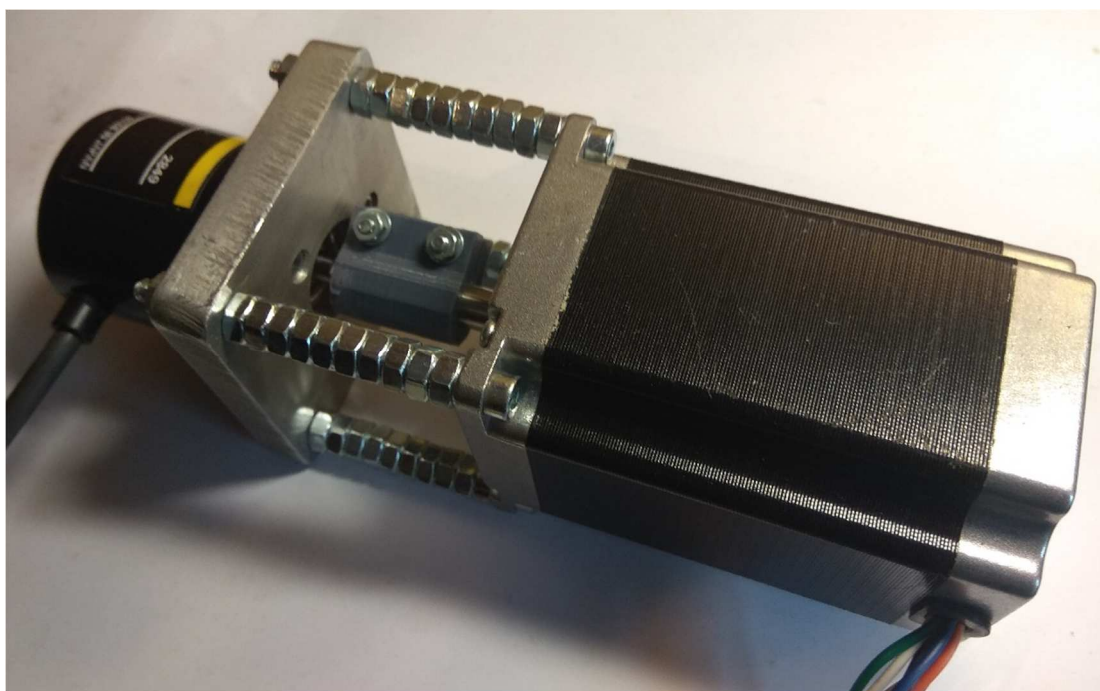
ID	Název:	Hodnota:	
1-00	Configuration Mode	[0] Speed open loop	-
1-01	Motor Control Principle	[0] U/f	-
1-04	Overload Mode	[1] Normal torque	-
1-05	Local Mode Configuration	[0] Speed open loop	-
1-10	Motor Construction	[0] Asynchron	-
1-20	Motor power	0,50	kW
1-22	Motor Voltage	230	V
1-23	Motor Frequency	400	Hz
1-24	Motor Current	3,50	A
1-25	Motor Nominal Speed	2300	RPM
1-30	Stator Resistance (Rs)	2,10	Ohm
1-39	Motor Poles	2	-
3-00	Reference Range	[1] – Max - + Max	-
3-01	Reference/Feedback Unit	[3] Hz	-
3-02	Minimum Reference	0,000	RPM
3-03	Maximum Reference	400,000	RPM
3-04	Reference Function	[1] External/Preset	-
3-11	Jog Speed	2,5	Hz
3-13	Reference Site	[0] Linked to Hand / Auto	-
3-15	Reference Resource 1	[1] Analog input 53	-
3-40	Ramp 1 Type	[0] Linear	-
3-41	Ramp 1 Ramp up Time	3,00	s
3-42	Ramp 1 Ramp Down Time	3,00	s
4-10	Motor speed Direction	[2] Both directions	-
4-13	Motor speed Hight Limit	23700	RPM
4-14	Motor Speed High Limit	395,0	Hz
4-19	Max Output Frequency	400,0	Hz
5-11	Terminal 19 Digital Input	[11] Start reversing	-
6-11	Terminal 53 High Voltage	10,00	V
6-15	Terminal 53 High Ref./Feedb. Value	400,000	RPM
14-22	Operation Mode	Reset to default	-

I při těchto parametrech u motoru dochází k nežádoucímu jevu při prvních startech. Motor se začne otáčet až ve chvíli, kdy se trochu zahřeje. Tedy z počátku se motor vůbec neotáčí a frekvenční měnič do něho pouští pouze poměrně vysoký proud, který způsobuje zahřátí motoru. Po lehkém ohřátí se motor rozběhne a do chvíle, než vychladne pracuje spolehlivě. Tuto negativní vlastnost by bylo vhodné před plným nasazením do provozu vyřešit, ale pro účely testování je tato vlastnost přípustná. Po úspěšném zprovoznění vřetene byla rychlostním čidlem ověřena shodnost zobrazovaných otáček na displeji frekvenčního měniče se skutečnými.

Frekvenční měnič má 2 možnosti řízení (manuální/automatické). Aby frekvenční měnič plnil všechny požadované funkce CNC stroje musí toto ovládání být nastaveno na automatické (Auto On). Toto se nastavuje na hlavním panelu frekvenčního měniče.

7.7 Motor + enkodér

Aby bylo možné plně testovat funkčnost řízení bez možnosti připojení přímo na rám CNC stroje bylo nutné provést prototypové propojení enkodérů s krokovými motory. Pro plnou simulaci situace, na kterou je řízení připravováno (krokový motor bude na jedné straně kuličkového šroubu a enkodér bude na opačné straně kuličkového šroubu) je provedeno následující propojení. Jedná se tedy o nepřímý způsob odměřování, kterým se zvýší přesnost krokových motorů a zamezí se chybám vzniklých při ztrátě kroku.



Obr. 74) Ukázka spojení krokového motoru s enkodérem

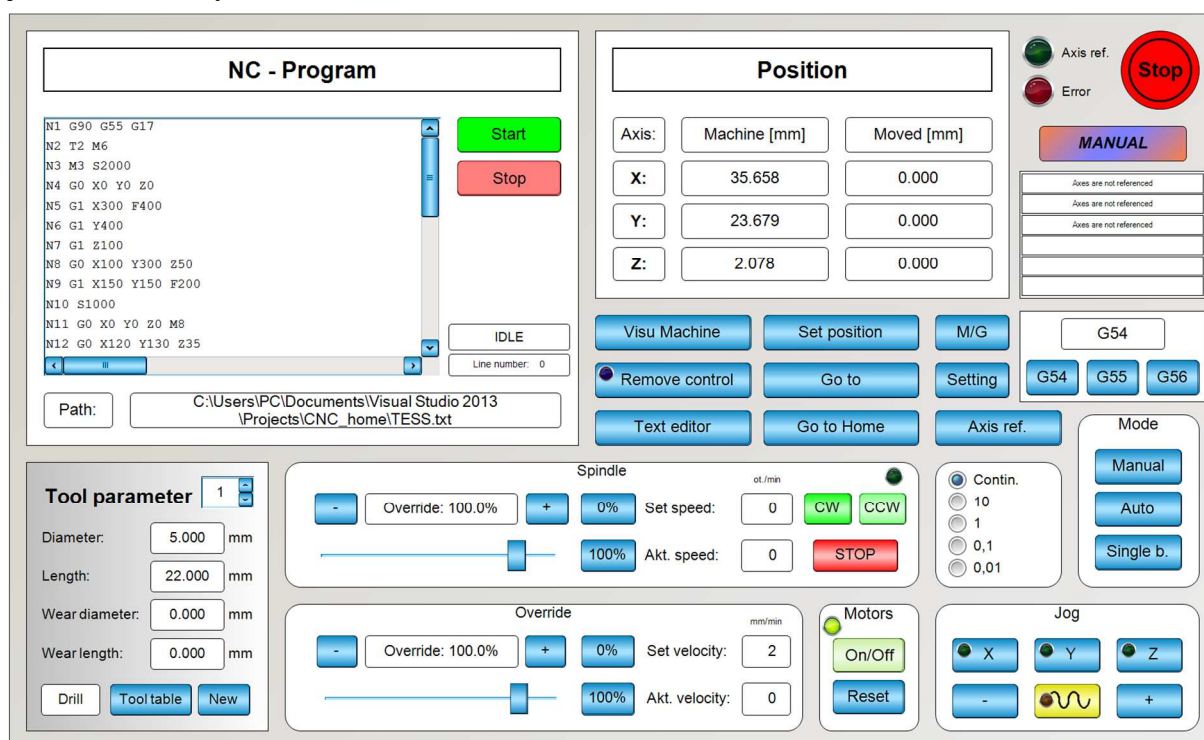
Hřídele jsou umístěny v jedné ose, otočené proti sobě a následně přímo spojeny spojkou, která představuje kuličkový šroub z reálného nasazení. Následně jsou motory s enkodéry pevně spojeny pomocí distančních šroubů simulujících spojení komponent s rámem.

7.8 Software

Pro řízení PLC zařízení firmy Beckhoff slouží vývojové prostředí zvané TwinCat. Konkrétně pro tuto práci bylo využito programu TwinCat 3, kdy finální program byl vytvořen ve verzi 4024.7.

Na hlavním panelu je možnost jednoduše měnit parametry přímým zadáním nebo otevřením některých podoken příslušným tlačítkem detailně rozebraných v kapitolách níže. Při spuštění je aktivován manuální režim, který je následně možné měnit na režim automatický, či režim po blocích. V tabulce “Position” jsou znázorněny absolutní souřadnice stroje (Machine) a posunuté souřadnice zvoleného posuvu G54/G55/G56 (Moved).

V pravé horní části hlavního panelu je červené tlačítko “Stop” sloužící k vypnutí pohonů os. Bezpečnější je užití externího tlačítka “Total stop“, které odpojí napájení pro krokové motory i napájení vřetene. Pod tímto tlačítkem je umístěna informativní tabulka vypisující jednotlivé změny, varování, ...

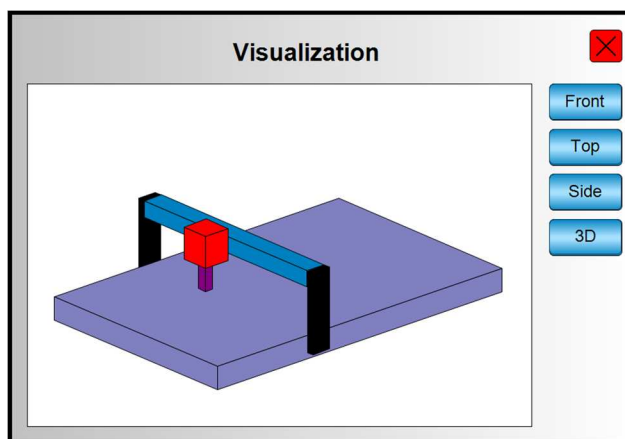


Obr. 75) Vizualizace programu (hlavní panel)

7.8.1 Vizualizace stroje (Visu Machine)

Zobrazení vizualizace stroje v prostoru, kdy lze jednoduše měnit pohledy přepínáním mezi okny:

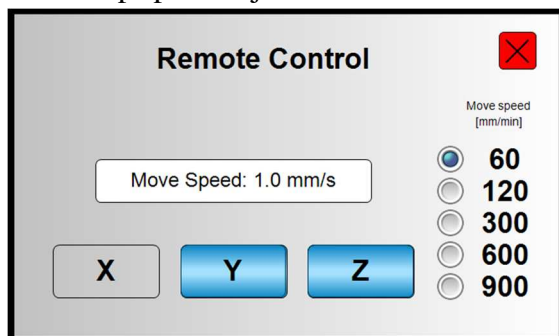
- Zepředu (Front)
- Z vrchu (Top)
- Z boku (Side)
- 3D pohled



Obr. 76) Okno vizualizace CNC stroje

7.8.2 Dálkové ovládání (Remote control)

Je umožněna práce s dálkovým ovládáním pouze v manuálním režimu a jeho aktivací. V ostatních případech je dálkové ovládání deaktivováno a v případě užití je obsluha upozorněna na nepovolenou operaci s vysvětlením z jakého důvodu.



Obr. 77) Okno dálkového ovládání

Tlačítkem na vrchu joysticku je možné měnit přednastavené rychlosti posuvu pomocí dálkového ovládání nezávisle na rychlostech posuvu manuálního ovládání. Pohybem joysticku v kladném, či záporném směru osy Y dochází k pohybu v předem nastavené ose danou rychlostí.

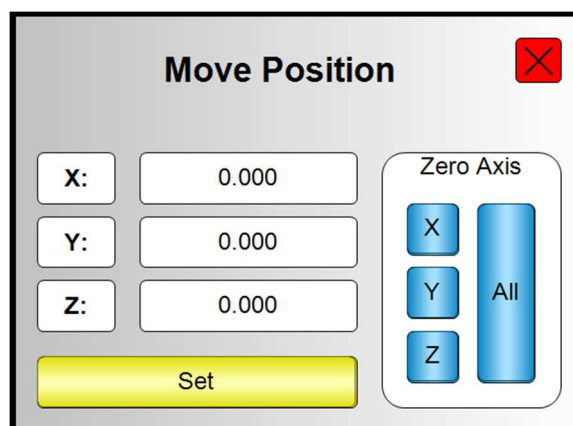
7.8.3 Úprava textu (Text editor)

V tomto okně je po načtení programu (zadání cesty k programu a stisknutí tlačítka "Load") možná jeho úprava nebo zadáním cesty pro nový program a stisknutí tlačítka "New" vytvoření nového. Všechny úpravy je třeba uložit tlačítkem "Save".

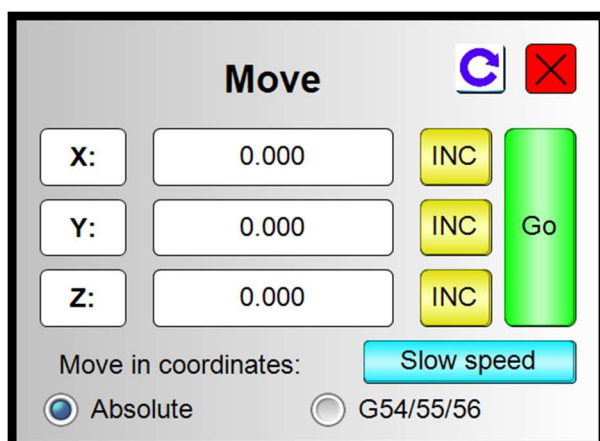
7.8.4 Posunutí souřadnic (Set position)

Po stisknutí tlačítka "Set position" vyskočí okno umožňující posunutí souřadnic. Zvolené posunutí (v pravé části hlavního panelu) se zapisuje do předpřipravených funkcí G54, G55, G56 podle aktivního zvoleného prvku.

V okně s názvem "Zero Axis" je možné vynulovat jednotlivé osy (X, Y, Z) zvlášť nebo pomocí tlačítka "All" všechny osy zároveň. Další možností je zapsání vlastních hodnot posunutých souřadnic a jejich následné uložení tlačítkem "Set".



Obr. 78) Okno posunutí souřadnic



Obr. 79) Okno přejezdu do žádané pozice

7.8.5 Jdi do nové pozice (Go to)

Po stisknutí tlačítka "Go to" vyskočí okno umožňující přejetí do přesně zadané pozice v "Abs" (absolutních) nebo "Inc" (inkrementální) pro každou osu zvlášť. Po nastavení žádané velikosti posunutí a následném stisknutí tlačítka "Go" stroj přejede do žádaných absolutních souřadnic / o žádanou inkrementální vzdálenost.

Zároveň je možná změna rychlosti mezi pomalým/rychlým pohybem, který je možný měnit v okně nastavení (Setting). Dále je možné nastavení absolutního pohybu do absolutních souřadnic nebo do posunutých souřadnic G54/G55/G56.

7.8.6 Jdi do domácí pozice (Go to Home)

Po stisknutí tlačítka “Go to Home“ na hlavním panelu stroj přejede do své výchozí pozice. Souřadnice domácí pozice je možné změnit v okně “Setting“, kdy jsou defaultně nastaveny následující hodnoty (zobrazené v tabulce č.15).

Tab 16) Defaultní hodnoty domácí pozice

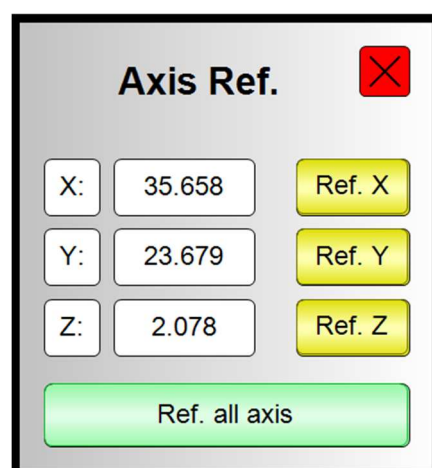
Osa	X	Y	Z
Souřadnice [mm]	30	400	100

7.8.7 M/G

Stisknutím tlačítka “M/G“ se zobrazí seznam M a G funkcí se stručným popisem.

7.8.8 Nastavení (Setting)

Po stisknutí tlačítka “Setting“ vyskočí okno umožňující změnu domácích souřadnic a nastavení rychlosti pracovního posuvu a rychloposuvu. Případně stisknutím tlačítek “Default“ návrat k výchozím hodnotám.



7.8.9 Referencování (Axis ref.)

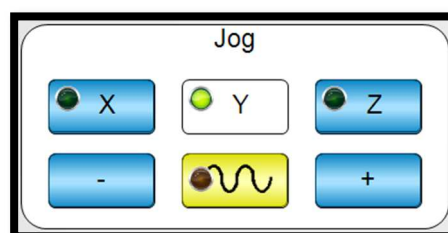
Po aktivaci stroje a před jeho plným využíváním je třeba provést zreferování všech os. Referování se provádí v manuálním režimu, kdy po stisknutí tlačítka “Axis ref.“ vyskočí tabulka s jednotlivými možnostmi. Je umožněno referování v jednotlivých osách zvlášť (X,Y,Z) nebo všech os zároveň. Kdy po úspěšném zreferování všech os je rozsvícena signalizace označující správnou referenci všech os.

Správné zreferování je signalizováno kontrolkou v pravé horní části na hlavním panelu.

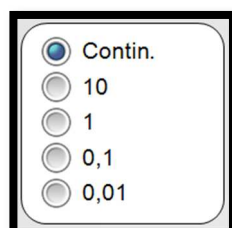
Obr. 80) Okno referování os

7.8.10 Manuální pohyb (Jog)

Nejprve je třeba zvolit osu, kterou se chce pohybovat (X, Y, Z) a následně stisknout tlačítko “+“ nebo “-“ pro určení směru, kterých se má daná osa pohybovat. V případě nutnosti rychlejšího pohybu je možné aktivovat rychloposuv stisknutím žlutého tlačítka mezi tlačítky + a -.



Obr. 81) Okno manuálního pohybu



Osa se pohybuje podle zvoleného způsobu pohybu:

- Contin. – plynule po dobu stisknutí tlačítka + nebo -
- 10/1/0,1/0,01 – o danou vzdálenost v [mm] směrem podle stisknutého tlačítka (+ nebo -)

Obr. 82) Okno zvoleného způsobu manuálního pohybu

Obr. 83) Okno s info. o nástroji

7.8.11 Nástroje

V levé spodní části obrazovky je tabulka s parametry nastaveného nástroje. Kde lze v manuálním režimu ručně měnit čísla nástrojů, v ostatních režimech se zobrazené řídí NC programem. Dále je zde možné zobrazit tabulku nástrojů a přidat nový, či zeditovat stávající nástroj.

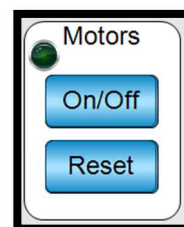
V tabulce nástrojů je umožněno pouze prohlížení parametrů jednotlivých nástrojů. Obsahuje jediné tlačítko pro uzavření tabulky.

V okně pro přidání nového nástroje je možné nastavit jednotlivé parametry nástroje (název, průměr, délku, délku vysunutí, poznámky, typ a číslo). Dále jsou zde 2 tlačítka, kdy tlačítko “Save” je pro uložení

nastavených parametrů do paměti a tlačítko “Exit” je pro ukončení okna pro přidání nového nástroje.

7.8.12 Pohony (Motors)

Tlačítkem “On/Off” se aktivují pohony os, jejich správná aktivace je znázorněna signalizací zelené kontrolky. Tlačítkem “Reset” se restartují pohony v případě poruchového stavu.



Obr. 84) Okno napájení pohonů

7.8.13 Vřeteno (Spindle)

Vřeteno je možné řídit přímo z NC programu nebo manuálně z ovládacího panelu. Kdy je umožněno spínání v obou směrech otáčení, změna rychlosti a detailní poupravení aktuální rychlosti pomocí overridu.

Obr. 85) Okno manuálního ovládání vřetene

Manuální zapnutí vřetene je možné pouze v případě, když je vřeteno předem vypnuté. Tlačítkem “CW” se vřeteno roztočí po směru hodinových ručiček, tlačítkem “CCW” se vřeteno roztočí proti směru hodinových ručiček. Tlačítkem “Stop” dojde k zastavení vřetene.

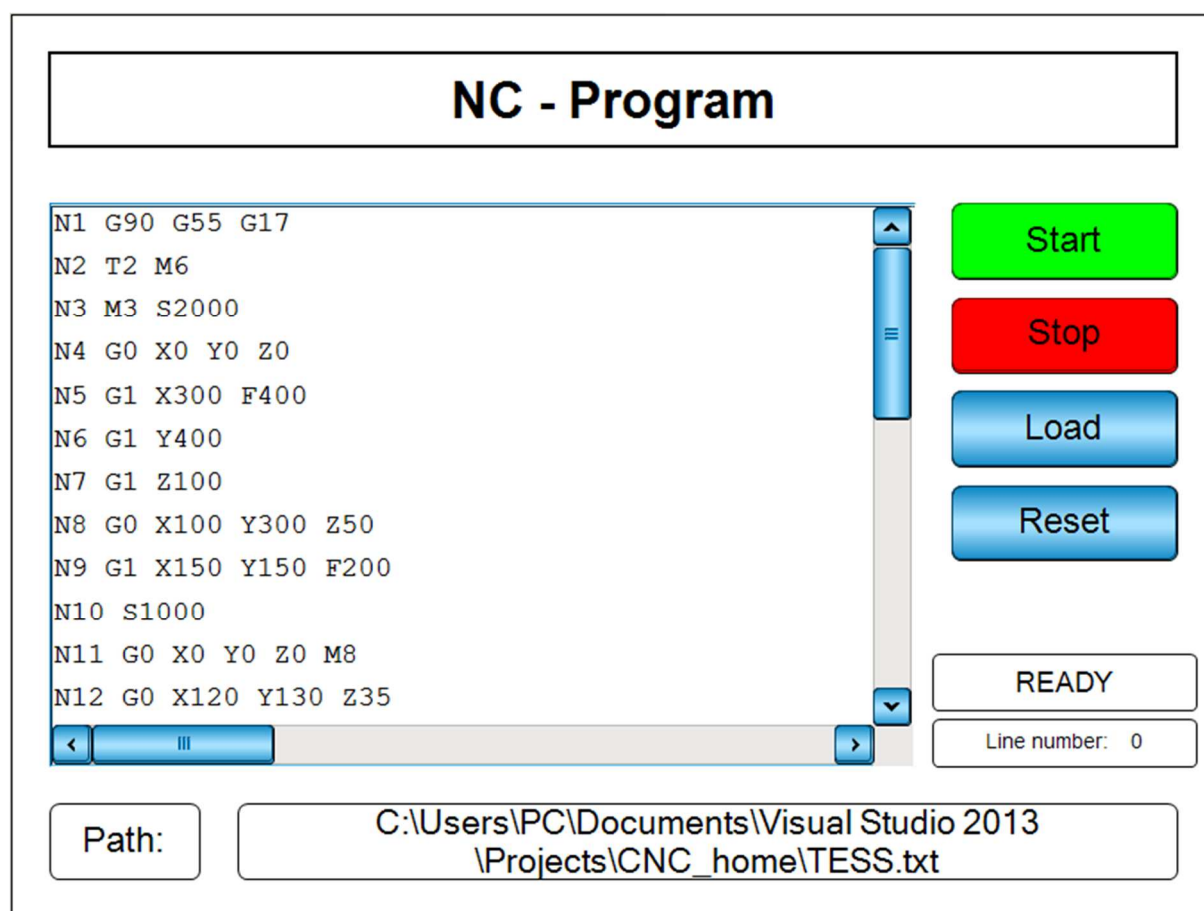
V okně “Set speed” se zobrazuje přednastavená rychlost s možností změny v otáčkách za minutu. V okně “Akt. speed” se vypisuje aktuální rychlost vřetene se započtenou velikostí nastaveného overridu.

V další části je možné měnit override. Ať už manuálně tlačítka “+” a “-“, kdy dochází k jednotlivým krokům o 0,05% v kladném či záporném směru. Manuálně na posuvném pravítku, kdy lze override plynule měnit v celém svém rozsahu od 0-120%. Další možností

změny je využití tlačítek “0%“ a “100%“ nebo přesné nastavení velikosti v celém svém rozsahu v okně zobrazující aktuální velikost “Override“.

7.8.14 NC – Program

Může běžet ve dvou režimech: po blocích a automatickém. Načtení, reset, zastavení, zobrazení a spuštění programu je stejné pro oba režimy. Vše se nachází v okně “NC program“. Program zde není možné upravovat, pouze je zobrazen a při běhu zobrazuje aktuální vykonávající řádek. V obou režimech je možné měnit parametry posuvu a vřetene pomocí změny overridu příslušného parametru.



Obr. 86) Okno ovládání NC programu

Automatický režim je možné spustit tlačítkem “start“ a při běhu programu kdykoliv pozastavit tlačítkem “Pause“ a pokračovat v pozastaveném programu stisknutím tlačítka “Continue“.

V režimu po blocích se vykonává každý řádek zvlášť a následně čeká na potvrzení. Stisknutím tlačítka “Next“ se potvrdí správně vykonaný příkaz a vykoná se následující. Po dokončení programu opět čeká na potvrzení.

7.8.15 Doplnky

V programu jsou již předpřipravené funkce pro spínání čerpadel řezné kapaliny z NC programu parametry M7 a M8, kdy parametr M9 je vypíná.

7.9 Parametry

7.9.1 Nastavení PLC

Podle připojených vstupů na jednotlivé piny PLC je třeba slinkovat všech vstupy/výstupy s konkrétní proměnnou v PLC programu pro správnou funkčnost celého systému. Jednotlivé čísla kanálů s příslušnou funkcí jsou znázorněna v tabulce č.17.

Tab 17) Čísla připojených komponent k PLC

Terminál:	č. kanálu:	Karta:	Funkce:
KL1408	1	Digital input	Joystick – středová poloha
Term 2	3		Joystick – kladný pohyb
	4		Joystick – záporný pohyb
	6		Joystick – tlačítko
	7		Total stop
KL2408	5	Digital output	Vřeteno – CW
Term 3	6		Vřeteno – CCW
	8		Vřetene – Stop
KL2541	4	Axis Z	Referenční spínač osy Z
Term 4			
KL2541	4	Axis Y	Referenční spínač osy Y
Term 5			
KL2541	4	Axis X	Referenční spínač osy X
Term 6			
KL4002	1	Analog output	Rychlost vřetene
Term 7			

7.9.2 Nastavení os

K zjištění hodnot potřebných ke správné činnosti lze dojít pomocí výpočtu dle vzorců nebo dosazením základních parametrů do programu jako je třeba například “KS2000 .v5” a ten doporučí vhodné parametry os.

Tab 18) Vstupní parametry pro nastavení pohonů

Značka:	Popis:	Hodnota:
s	Stoupání kuličkového šroubu	5 mm
SF (step frequency)	Maximální počet kroků za sekundu	125000 steps/s
MS (micro step)	Počet mikrokroků	64
FS (full step)	Počet plných kroků na otáčku	200
inc	Počet impulzů na otáčku od enkodéru	2000
n	Maximální otáčky motoru za sekundu	20 ot./s

Referenční rychlost:

$$v_{ref} = v_{max} \cdot s = \frac{SF}{MS \cdot FS} \cdot s = \frac{125000}{64 \cdot 200} \cdot 5 = 48,8 \text{ mm} \cdot s^{-1} \quad (1)$$

Scaling Factor:

$$SF = \frac{s}{inc \cdot 4} = \frac{5}{2000 \cdot 4} = 0,000625 \text{ mm} \cdot inc^{-1} \quad (2)$$

K_v faktor

$$K_v = 0,2 \cdot \omega = 0,2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = 0,2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20 = 25 \quad (3)$$

Tab 19) Základní parametry os

Osy	X	Y	Z
Rozsah [mm]	0 – 300	0 – 450	0 – 100
Scaling Factor [mm/inc]	0,000625		
Referenční rychlost [mm·s ⁻¹]	48,8		
Maximální rychlost [mm·s ⁻¹]	45,0		
Maximální zrychlení [mm·s ⁻²]	60,0		
G0 – rychlost posuvu [mm·s ⁻¹]	20,0		
K _v – faktor	25		

Regulátory pro všechny osy byly použity typu P s dvěma konstantami. Kdy byla nastavena mrtvá zóna, na kterou je pozice doregulována $\pm 0,005$ mm, což by pro účely hobby CNC frézky mělo být dostačující.

7.10 Výpočty

7.10.1 Oteplení rozvaděče

Při plném a dlouhodobém provozu 48V zdroje umístěného v rozvaděčové skříni současně s jističími prvky a zdrojem stejnosměrného napětí 24 V by mohlo docházet k přehřívání. Bylo by nutné k celému zařízení doplnit chladicí zařízení nebo zajistit nucené proudění vzduchu.

V rozvaděči o malém rozměru (300x300x130) je na jednom místě umístěno příliš velké množství zařízení s velkými ztrátovými výkony. Jednotlivé ztrátové výkony byly odvozeny z tabulek hodnot nebo vytvořeny odhadem dle maximálního výkonu zařízení a znázorněny v tabulce níže.

Tab 20) Ztrátové výkony v rozvaděči

Zařízení:	Ztrátový výkon [W]:
Jistič 6A	1
Jistič 13A	2
Zdroj 24V 1,3A	8
Elektromagnetické relé	2
Transformátor	150
Kondenzátory	20
Můstkový usměrňovač	2

Odhad celkového ztrátového výkonu tedy činí 185 W. Zadání těchto parametrů do výpočtového programu společnosti Rittal byla vypočtena střední teplota v rozvaděči 180 °C a byla doporučena chladicí jednotka pro dodržení optimální teploty. [51]

7.10.2 Řezná síla

Výpočty jsou řešeny využitím monolitické stopkové frézy. Uvažujeme plný záběr frézy pro simulaci tvorby drážek. Výpočty jsou provedeny pro obrábění standartní konstrukční oceli a základní slitiny hliníku.

- Průměr nástroje: $D = 10 \text{ mm}$
- Počet břitů: $z = 4$
- Šířka záběru: $a_e = 10 \text{ mm}$
- Kienzův exponent: $m_c = 0,25$
- Úhel čela frézy $\gamma = 12^\circ$
- Účinnost motoru $\eta = 0,75$

Výpočet otáček vřetene

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad (4)$$

Maximální počet zubů v záběru

$$z_{\check{r}} = \frac{z}{2} \quad (5)$$

Výpočet posuvu

$$v_f = n \cdot z_{\check{r}} \cdot f_z \quad (6)$$

Výpočet střední tloušťky třísky

$$h_m = \frac{360 \cdot a_e \cdot f_z}{\pi \cdot D \cdot \cos^{-1} \left(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D} \right)} \quad (7)$$

Výpočet měrného řezného odporu s korekcemi nástroje

$$k_c = h_m^{-m_c} \cdot k_{c1} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{100} \right) \quad (8)$$

Výpočet maximální hloubky záběru

$$a_p = \frac{P \cdot \eta \cdot 600000000}{a_e \cdot v_f \cdot k_c} \quad (9)$$

Řezná síla

$$F_c = f_z \cdot k_c \cdot a_p \cdot z_{\check{r}} \quad (10)$$

Tab 21) Řezné parametry

	SK		HSS	
	Ocel	Hliník	Ocel	Hliník
v_c [m/min]	180	800	25	200
f_z [mm/zub]	0,04	0,055	0,05	0,07
k_{c1} [MPa]	1700	700	1700	700
n [ot/min]	5730	25460	795,775	6366
v_f [mm/min]	458,4	2801	79,6	891,3
h_m [mm]	0,025	0,035	0,032	0,045
k_c [MPa]	3745	1424	3542	1341
a_p [mm]	1,311	0,564	7,983	1,883
F_c [N]	392,7	88,36	2827	353,43

7.10.3 Krouticího momentu motoru

Výpočet je proveden v ose Y, kdy CNC frézka musí pohybovat s největší hmotou (v tomto případě). V úvahu přichází i výpočet v ose Z, kde motor musí překonávat gravitační síly, ale předpoklad je, že v ose Y bude zatížení větší. Z předchozích výpočtů vyplívají řezné síly, následné výpočty budou provedeny pouze pro nástroje HSS, kdy jsou řezné síly větší.

Výpočet nemá žádnou reálnou konstrukci, proto jsou některé parametry určeny pouze přibližně dle předpokladu následné aplikace (hmotnost polohové soustavy, ...). Účinnosti, součinitele tření a jiné vlastnosti jsou převzaty z odborné literatury nebo příslušného datasheetu dané komponenty. [1, 26]

Tab 22) Vstupní parametry pro výpočet zatížení osy Y

Zkratka	Hodnota	Jednotka	Popis
η_s	0,92	-	Účinnost kuličkového šroubu
η_v	0,98	-	Účinnost vedení
η_L	0,95	-	Účinnost ložiska
i	2	[ks]	Počet ložisek na ose
m	25	[kg]	Hmotnost polohované soustavy
g	9,81	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
f_1	0,005	-	Součinitel tření ve vodicích plochách
f_2	0,003	-	Ekvivalentní součinitel tření v KŠ
s	5	[mm]	Stoupání kuličkového šroubu
D_s	16	[mm]	Průměr kuličkového šroubu
m_s	0,75	[kg]	Hmotnost kuličkového šroubu
v	45	[mm·s ⁻¹]	Požadovaná rychlost
t	0,5	[s]	Požadovaný čas
J_s	0,00076	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti rotoru (spojky)
J_{mot}	0,000053	[kg·m ²]	Moment setrvačnosti rotoru motoru

Celková účinnost posuvové soustavy

$$\eta_c = \eta_s \cdot \eta_v \cdot \eta_L^i = 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,95^2 = 0,81 \quad (11)$$

Působící moment od tíhové složky:

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_c} = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (12)$$

Působící moment od třecích sil:

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos(\alpha) \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_s \cdot \eta_L^i} = \frac{25 \cdot 9,81 \cdot 0,005 \cdot \cos(0) \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,92 \cdot 0,95^2} = 0,0011 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (13)$$

Moment zátěže od předeptnutí kuličkového šroubu

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_L^i} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F + m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos(\alpha)) \cdot D_s \cdot f_2}{\eta_L^i} [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (14)$$

- Pro ocel:

$$M_{KSM} = \frac{0,35 \cdot 2827 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,95^2} \cdot (1 - 0,92^2) + \frac{0,5 \cdot (2827 + 25 \cdot 9,81 \cdot 0,005) \cdot 0,016 \cdot 0,003}{0,95^2} = 0,209 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Pro hliník:

$$M_{KSM} = \frac{0,35 \cdot 353 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,95^2} \cdot (1 - 0,92^2) + \frac{0,5 \cdot (353 + 25 \cdot 9,81 \cdot 0,005) \cdot 0,016 \cdot 0,003}{0,95^2} = 0,026 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{zsrhm} = M_{GT} + M_G + M_L + M_{KSM} + M_F \quad (15)$$

Složky momentu M_F a M_L jsou zanedbány vzhledem k tomu, že se jedná pouze jen o teoretický výpočet bez reálného podkladu a jejich složky při užití valivého vedení a kuličkového šroubu jsou téměř nulové. Složka od třecích sil M_G je v porovnání se zátěží od předpětím kuličkového šroubu také zanedbatelná, proto je možné dále počítat se statickým momentem zátěže redukováném na hřídel motoru M_{zsrhm} a M_{zdrhm} , jako by se jednalo pouze o složku M_{KSM} .

Krouticí moment motoru ze **statického hlediska**

$$M_m = \frac{F \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_L^i} + M_{zsrhm} \quad (16)$$

- Pro ocel:

$$M_m = \frac{2827 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,95^2} + 0,209 = \mathbf{2,703 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

- Pro hliník:

$$M_m = \frac{353 \cdot 0,005}{2 \cdot \pi \cdot 0,95^2} + 0,026 = \mathbf{0,339 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

Lineární zrychlení stolu

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,045}{0,5} = 0,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} \quad (17)$$

Úhlové zrychlení

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,09}{0,005} = 113,1 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-2} \quad (18)$$

Moment setrvačnosti posuvových hmot redukováný na osu kuličkového šroubu

$$J_m = m \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 25 \cdot \left(\frac{0,005}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (19)$$

Moment setrvačnosti kuličkového šroubu

$$J_{KS} = \frac{1}{2} \cdot m_s \cdot \left(\frac{D_s}{2}\right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot \left(\frac{0,016}{2}\right)^2 = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (20)$$

Celkový moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{red} = J_{mot} + J_s + J_{KS} + J_m \quad (21)$$

$$J_{red} = 0,000053 + 0,00076 + 0,000024 + 0,0000158 = 0,000853 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{zdrhm} = M_{GT} + M_G + M_{KSM} \quad (22)$$

Krouticí moment motoru z **dynamického hlediska**

$$M_m = J_{red} \cdot \varepsilon + M_{zdrhm} \quad (23)$$

- Pro ocel:

$$M_m = 0,000853 \cdot 113,1 + 0,209 = \mathbf{0,31 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

- Pro hliník:

$$M_m = 0,000853 \cdot 113,1 + 0,026 = \mathbf{0,12 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

Dle těchto výpočtů lze říci že při těchto stanovených podmínkách a námi zvolenými motory není příliš vhodné obrábět ocelové díly. CNC frézka bude mít lepší uplatnění u obrábění hliníku a jiných materiálů s nižším řezným odporem, jako je například plast a dřevo.

Obecně nelze říci, že s těmito motory nelze obrábět ocel. V případě konstrukční úpravy parametrů CNC frézky, lze dosáhnout nižších požadavků na krouticí moment motorů se stejným zatížením. Největší vliv na tuto vlastnost bude mít změna převodového poměru mezi motorem a posuvným mechanismem, tedy přidáním převodové skříně nebo změnou stoupání kuličkového šroubu. Vliv změny stoupání kuličkového šroubu při zachování ostatních parametrů stejných je znázorněno v následující tabulce.

Tab 23) Krouticí moment motoru v závislosti na stoupání kuličkového šroubu

M _m [N·m]		s [mm]				
		3	4	5	6	10
Ocel	Statické hledisko	1,65	2,18	2,7	3,23	5,33
	Dynamické hledisko	1,7	1,38	1,17	1,05	0,85
Hliník	Statické hledisko	0,2	0,27	0,34	0,4	0,67
	Dynamické hledisko	1,6	1,22	0,99	0,84	0,55

8 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

V případě nasazení této elektroniky do provozu bylo nutné zajistit správné chlazení rozvaděče a udělat nové rozvody elektrické energie. Nyní je vše propojené vodiči, které byly aktuálně k dispozici, a tedy u některých při působení většího proudu může docházet k jejich zahřívání. Výstupy z rozvaděče, držáky a spojky propojení krokových motorů a enkodérů měly být provedeny také ve vyšší kvalitě. Bohužel kvůli zákazu vstupu do areálu školy z důvodu krizového stavu v České republice, byl návrh poupraven a zhotoven provizorním způsobem. I když není řešení dokonalé plně postačí danému testování před nasazením do provozu.

Krokové motory je třeba doladit na konkrétním stroji. V tomto řešení na ně není kladen žádný mechanický odpor a s těmito parametry by na stroji nemusely spolehlivě fungovat. Nyní je proces řízen ze stolního počítače, což pro spolehlivost při obrábění není příliš vhodné a dalo by se uvažovat o nahrazení průmyslovým počítačem. Také u řízení stroje dochází k občasnému zpoždění a neplynulosti chodu. To může mít za příčinu právě řízení stolním počítačem a bylo by vhodné otestovat to i právě na průmyslovém PC k tomu přímo určeném. Tato vlastnost nemá vliv na přesnost polohování, ale může působit nepříznivým dojmem.

Krokové motory nebylo možné hned po zapojení a nastavení parametrů spustit a přejít do stavu “ready“. Po dlouhém zjišťování příčiny nebyla žádná nalezena a v prostředí TwinCAT 3 stále nebylo možné motory spustit. K prvnímu roztočení došlo až po jejich testování přímým řízením v programu KS2000 (program pro nastavení parametrů jednotlivých terminálů). Po úspěšném provedení této operace bylo umožněno ovládání i z jiných prostředí.

9 ZÁVĚR

Z počátku se diplomová práce zabývala charakteristikou jednotlivých prvků, z kterých se v dnešní době CNC stroje skládají. U každého prvku byl proveden stručný popis činnosti s rozbohem jednotlivých variant využití.

Po teoretické části dochází k návrhu a porovnání několika různých návrhových řešení. Ukázaly se klady a zápory jednotlivých řešení, i jejich hrubé cenové srovnání, na jejímž základě byla zvolena optimální varianta, která byla následně detailně zpracována.

Zvolená varianta tedy obsahuje průmyslové PLC a pohon je řešen krokovými motory s nepřímým odměřováním v podobě enkodérů. Tato varianta elektrického obvodu byla navržena, zrealizována a zprovozněna jako prototypová verze bez reálné instalace na CNC frézce (bez zátěže). K využitému PLC značky Beckhoff byl vytvořen příslušný program pro řízení CNC frézky v reálném čase. Aktuálně bylo řízení řešeno ze stolního počítače, ale to by bylo jednoduše zaměnitelné za průmyslové PC, čímž by se zvýšila rychlost přenosu a výrazně by se zvýšila spolehlivost.

V závěru práce byly provedeny základní výpočty pro lepší představu o dané aplikaci CNC řízení v reálném provozu. Z výsledných hodnot je patrné, že v případě použití 48 V zdroje pro krokové motory by bylo nutné v rozvaděči zajistit chlazení a z dalších výpočtů si můžeme udělat obrázek o použitelnosti krokových motorů SX23-2727 na CNC frézce.

V praxi tento návrh může najít své uplatnění v malých, či hobby provozech, kdy lze jednoduše aplikovat na jakoukoliv konstrukci CNC frézek pouze s malými změnami v softwaru (jako rozsahy os a přesnější nalazení pohonů dle konkrétního zatížení).

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. : il. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [2] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015, 240 s. : il. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [3] [online]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U31_Cislicove_rizene_stroje.pdf
- [4] Funkce systému MIKROPROG — Učební pomůcka pro žáky oboru Mechanik seřizovač. *Funkce systému MIKROPROG — Učební pomůcka pro žáky oboru Mechanik seřizovač* [online]. Copyright © 2020 Funkce systému MIKROPROG. All Rights Reserved. [cit. 07.01.2020]. Dostupné z: <http://www.finweb-zk.mzf.cz/>
- [5] Programování CNC V moderní době vzrůstá složitost produkovaných výrobků a z toho plynoucí nároky na přesnost a spolehlivost jednotlivých dílů. Pro výrobu. - ppt stáhnout. *SlidePlayer - Nahrávejte a Sdílejte své PowerPoint prezentace* [online]. Copyright © 2020 SlidePlayer.cz Inc. [cit. 07.01.2020]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3080486/>
- [6] Palmknihy - e-knihy ve vaší dlani. *Palmknihy - e-knihy ve vaší dlani* [online]. Dostupné z: https://www.palmknihy.cz/elektrotechnika-energetika/dimenzovani-a-jisteni-elektrickych-zarizeni-tabulky-a-priklady-155077?book_id=155077&format=application%2Fpdf&do=previewRedirect
- [7] ELUC. *ELUC* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/656>
- [8] Programovatelný logický automat – *Wikipedie*. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat
- [9] Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje. *Úvod* [online]. Copyright © 2020 www.cnckonstrukce.cz [cit. 07.01.2020]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/ridici-systemy-pohony-a-motory-pro-obrabeci-stroje.html>
- [10] Co se skrývá pod označením PLC ? | *Automatizace.HW.cz. Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/co-se-skryva-pod-oznaceni-plc>
- [11] Arduino - Introduction . *Arduino - Home* [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>
- [12] The Ultimate Arduino Board Guide For Beginners and Experts. *Velleman for Makers - DIY electronics & equipment for makers* [online]. Copyright © 2019 [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <https://www.vellemanformakers.com/the-ultimate-arduino-guide/>
- [13] Úvod do Raspberry Pi. *itnetwork.cz - Ajtácká sociální síť a materiálová základna pro C#, Java, PHP, HTML, CSS, JavaScript a další.* [online]. Copyright © 2020 itnetwork.cz. Veškerý obsah webu [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/uvod-do-raspberry-pi>
- [14] Buy a Raspberry Pi – Raspberry Pi. *Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi – Raspberry Pi* [online]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/>
- [15] Frekvenční měniče - proč a jak - *Elektromotory.cz. Elektromotory.cz* [online]. Copyright © 2020 D2DRIVES S.R.O. [cit. 08.01.2020]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/frekvencni-menice-proc-a-jak>

- [16] Pohony NC strojů. *COPTel – výukový portál SŠ-COPT Kroměříž* [online]. Copyright © Všechna práva vyhrazena. [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/resource/view.php?id=7771>
- [17] Servozesilovače TGZ: univerzální, jednoduché a flexibilní. *AUTOMA – časopis pro automatizační techniku* [online]. Copyright © [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/54261.pdf
- [18] What is a servo drive? — Motion Control Tips. *Motion Control, Encoders, Servo Drives, Controllers | Motion Control Tips* [online]. Dostupné z: <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-is-a-servo-drive/>
- [19] Stepper Motor Control: Stepper Motor Drivers. *CNC Router Source: The Ultimate Information Resource* [online]. Copyright © Copyright 2007 [cit. 04.02.2020]. Dostupné z: <http://www.cncroutersource.com/stepper-motor-control.html>
- [20] PPT - Krokové motory II. PowerPoint Presentation, free download - ID:4927344. *Upload and Share PowerPoint Presentations Online - SlideServe* [online]. Copyright © 2020 SlideServe [cit. 21.06.2020]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/daria/krokov-motory-ii>
- [21] Servomotory – synchronní & asynchronní. *SEW-EURODRIVE* [online]. Dostupné z: https://www.sew-eurodrive.cz/vyroby/motory/servomotory/servomotoren_3.html
- [22] Servo Motors for CNC Machines - HEIDENHAIN. *HEIDENHAIN encoders, controls, precision motion control - HEIDENHAIN* [online]. Copyright © 2020 HEIDENHAIN [cit. 03.02.2020]. Dostupné z: <https://www.heidenhain.us/resources-and-news/servo-motors-for-cnc-machines/>
- [23] Servomotory | RAVEO s.r.o.. *RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION* [online]. Copyright © [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: https://www.raveo.cz/servo_motor
- [24] ELUC. *ELUC* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/809>
- [25] Krokové motory | RAVEO s.r.o.. *RAVEO s.r.o. | WORLD OF MOTION* [online]. Copyright © [cit. 23.02.2020]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/krokovy-motor>
- [26] CNCShop.cz. *CNCShop.cz* [online]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/>
- [27] Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM. *Arduino-shop.cz: VELKOOBCHOD, MALOOBCHOD S ARDUINEM* [online]. Copyright © Copyright ECLIPSE s.r.o. [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/>
- [28] Microcon. *Microcon* [online]. Dostupné z: <http://www.microcon.cz/>
- [29] CC3000, VF vzduchem chlazený asynchronní motor 3.0 kW + FM 3.0 kW frekvenční měnič, CNC | Prima Dilna - e-shop s nářadím, mazivy, soustruhy atd.. *Prima Dilna - e-shop s nářadím, mazivy, soustruhy atd.* [online]. Dostupné z: <https://www.primadilna.cz/CC3000-VF-vzduchem-chlazen-y-asynchronni-motor-3-0-kW-FM-3-0-kW-frekvencni-menic-CNC-d3780.htm>
- [30] BECKHOFF New Automation Technology. *BECKHOFF New Automation Technology* [online]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/english.asp?bus_terminal/
- [31] Radwell International MRO, Automation Supply & Repair - Radwell.co.uk . *Radwell International MRO, Automation Supply & Repair - Radwell.co.uk* [online]. Copyright © 2020 Radwell International UK Ltd.. All rights are reserved. PLC Center is a Division of Radwell International UK Ltd.. Radwell International UK Ltd.. sells new and surplus products and develops channels to purchase such product. This website is not sanctioned or approved by any manufacturer or tradename listed. Radwell [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://www.radwell.co.uk/en-GB/>

- [32] E6B2-CWZ6C-2000 0.5M OMRON - Enkodér: inkrementální | Unap: 5÷24VDC; 2000imp/otáčku; hřídel 6mm; E6B2-CWZ6C-2000 | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. *Redirecting to /en/* [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/e6b2-cwz6c-2000/enkodery/omron/e6b2-cwz6c-2000-0-5m/>
- [33] SINUMERIK 808 | CNC-Systems | Siemens Global. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © Siemens 1996 [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/automation-systems/sinumerik-808.html>
- [34] CEHA KDC *elektro k.s. - Elektromateriál* [online]. Dostupné z: <http://www.ceha-kdc.cz/shop/produkty/37269-power-logo-24v-1-3v-6ep1331-1sh02>
- [35] Diodový můstek KBPC | Official Electronic, s.r.o. . *Official Electronic, s.r.o. | Distributor elektronických součástek* [online]. Copyright © Official Electronic, s.r.o. [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.official.cz/z7618-diodovy-mustek-kbpc>
- [36] HE1J109M35050HA SAMWHA - Kondenzátor: elektrolytický | SNAP-IN; 10000uF; 63VDC; Ø35x50mm | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. *Redirecting to /cz/* [online]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/he1j109m35050ha/elektrolyt-kondenzatory-snap-in-105deg/samwha/>
- [37] PHOENIX CONTACT. *Zdroj napájení - TRIO-PS/1AC/24DC/20 - 2866381* [online] [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.phoenixcontact.com/online/portal/cz?uri=pxc-oc-itemdetail;pid=2866381&library=czcs&tab=1>
- [38] OEZ. *OEZ* [online]. Copyright © 2001 [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <http://www.oez.cz/>
- [39] ZENL1121 - single contact block for head Ø22 1NC screw clamp terminal | Schneider Electric Global. *Schneider Electric Global* [online]. Copyright © 2019 Denis Pushkarev [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.se.com/ww/en/product/ZENL1121/single-contact-block-for-head-%C3%B822-1nc-screw-clamp-terminal/>
- [40] Farnell | Electronic Component Distributors. *Farnell | Electronic Component Distributors* [online]. Copyright © 2019 Premier Farnell Limited. All Rights Reserved. [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.farnell.com/>
- [41] Curtiss-Wright. *Produktový list JC400* [online]. Copyright © [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: https://www.cw-industrialgroup.com/getattachment/8b09c8a1-33dd-458f-990f-ace5a6aa1b22/jc400_brochure
- [42] Danfoss s. r. o. *Návod k používání VLT® AutomationDrive FC 301/302* [online] [cit. 11.6.2020]. Dostupné z: <http://files.danfoss.com/download/Drives/MG33AR48.pdf>
- [43] Gützold Elektrotechnik GmbH. *FC-301P1K1T2E20H1BGXXXXXXXAXBXXXXDX* [online]. Copyright © 2019 [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://www.guetzold.com/produkt/fc-301p1k1t2e20h1bgxxxxxxxaxbxxxxdx/>
- [44] ATAS elektromotory Náchod a.s. *Třífázový asynchronní motor – včetně FT4C* [online] [cit. 11.6.2020]. Dostupné z: <https://www.atas.cz/files/FT4C.pdf>
- [45] Hobby vřeteno FT4C52R - Ložiska Vokoun. [online]. Dostupné z: http://eshop.loziskavokoun.eu/index.php?id_product=10123&controller=product

- [46] HÁJEK, L. Řízení CNC frézky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 69 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jakub Arm.
- [47] HOMOLA, S. *Počítačem řízená frézka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 100 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D..
- [48] Stepper Motor Control: Stepper Motor Drivers. *CNC Router Source: The Ultimate Information Resource* [online]. Copyright © Copyright 2007 [cit. 04.02.2020]. Dostupné z: <http://www.cncroutersource.com/stepper-motor-control.html>
- [49] [online]. Copyright © [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <http://www.khwy.net/images/product/tandianrong/KEMET/KEMET.pdf>
- [50] Úvod | Katedra výrobních systémů a automatizace. *Úvod | Katedra výrobních systémů a automatizace* [online]. Copyright ©2Z [cit. 04.02.2020]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:3672>
- [51] Rittal The System. *Rittal Therm Version 6.4 - Klimatisierung mit System* [online]. Copyright © Rittal GmbH [cit. 21.06.2020]. Dostupné z: <http://www6.rittal.de/therm63/html/titellogin.php>
- [52] ELUC. *ELUC* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1238>
- [53] 500W Atas FT4C52R na měniči Danfoss FC-301 - CNC Fórum. *CNC Fórum - Obsah* [online]. Dostupné z: <https://forum.strojirenstvi.cz/viewtopic.php?t=15802>
- [54] ŘEZNÉ PODMÍNKY NÁSTROJŮ | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů. *Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů* [online]. Copyright © 2010 TumliKOVO. Všechna práva vyhrazena. [cit. 25.06.2020]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/rezne-podminky-nastroju/>
- [55] Obráběné materiály . *Document Moved* [online]. Copyright © Sandvik Coromant [cit. 25.06.2020]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [56] Frézy válcové čelní krátké, 2 břity do středu, 30°, typ N, hladká stopka, povlak AlTiN | *ZPS-FN a.s.* [online]. Copyright © ZPS [cit. 25.06.2020]. Dostupné z: [https://www.zps-fn.cz/cz/frezy-valcove-celni-sk/detail/frezy-valcove-celni-kratke,-2-brity-do-stredu,-30-,-typ-n,-hladka-stopka,-din-6527-k,-slnute-karbidy-\(sk\)/](https://www.zps-fn.cz/cz/frezy-valcove-celni-sk/detail/frezy-valcove-celni-kratke,-2-brity-do-stredu,-30-,-typ-n,-hladka-stopka,-din-6527-k,-slnute-karbidy-(sk)/)

11 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

11.1 Seznam tabulek

TAB 1)	NÁVRHOVÉ VARIANTY A JEJICH SROVNÁNÍ	39
TAB 2)	POUŽITÉ JISTIČE (13A, 6A, 4A) A JEJICH SROVNÁNÍ [38].....	49
TAB 3)	JMENOVITÝ PROVOZNÍ PROUD PŘI RŮZNÝCH NAPĚTÍCH [39]	50
TAB 4)	PARAMETRY FINDER 34.51.7.024.0010 [40]	50
TAB 5)	ZPŮSOB ZAPOJENÍ JOYSTICKU JC 400 [43]	54
TAB 6)	ZPŮSOBY ZAPOJENÍ KROKOVÉHO MOTORU SX23-2727 [28].....	55
TAB 7)	PARAMETRY FREKVENČNÍHO MĚNIČE FC-301 [44]	57
TAB 8)	PARAMETRY VŘETENE ATAS FT4C52R [46].....	58
TAB 9)	PŘIPOJOVANÉ PINY KE KARTĚ BECKHOFF KL1408	63
TAB 10)	PŘIPOJOVANÉ PINY KE KARTĚ BECKHOFF KL2408	63
TAB 11)	PŘIPOJOVANÉ PINY KE KARTĚ BECKHOFF KL2541	64
TAB 12)	PŘIPOJOVANÉ PINY K FREKVENČNÍMU MĚNIČI.....	65
TAB 13)	PŘIPOJOVANÉ PINY K JOYSTICKU JC400	66
TAB 14)	ZÁKLADNÍ NASTAVENÉ PARAMETRY KARTY KL2541	67
TAB 15)	PARAMETRY FREKVENČNÍHO MĚNIČE	68
TAB 16)	DEFAULTNÍ HODNOTY DOMÁCÍ POZICE	72
TAB 17)	ČÍSLA PŘIPOJENÝCH KOMPONENT K PLC.....	75
TAB 18)	VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NASTAVENÍ POHONŮ.....	75
TAB 19)	ZÁKLADNÍ PARAMETRY OS	76
TAB 20)	ZTRÁTOVÉ VÝKONY V ROZVADĚČI.....	76
TAB 21)	ŘEZNÉ PARAMETRY	77
TAB 22)	VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČET ZATÍŽENÍ OSY Y	78
TAB 23)	KROUTICÍ MOMENT MOTORU V ZÁVISLOSTI NA STOUPÁNÍ KULIČKOVÉHO ŠROUBU	80

11.2 Seznam obrázků

OBR. 1)	OBECNÉ BLOKOVÉ SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE [2]	19
OBR. 2)	PŘÍKLAD STRUKTURY NC PROGRAMU	21
OBR. 3)	PRAVIDLO PRAVÉ RUKY SOUŘADNÉHO SYSTÉMU [1].....	21
OBR. 4)	VZTAŽNÉ BODY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ (VZOR FRÉZKA) [4]	22
OBR. 5)	ZJEDNODUŠENÉ BLOKOVÉ SCHÉMA CNC OBRÁBĚCÍHO STROJE [2]23	
OBR. 6)	ŘÍDICÍ PANEL CNC (OBECNÁ UKÁZKA) [2].....	24

OBR. 7) HARDWARE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU SINUMERIC 840 D [1]	27
OBR. 8) UKÁZKA PLC AUTOMATU [10]	29
OBR. 9) ARDUINO PLATFORMY S PŘÍSLUŠENSTVÍM [12]	30
OBR. 10) UKÁZKA RASBERRY PI 4, MODEL B [13]	30
OBR. 11) PŘÍKLAD FREKVENČNÍHO MĚNIČE [26]	31
OBR. 12) PŘÍKLAD SERVOZESILOVAČE (ABB) [18]	32
OBR. 13) BLOKOVÉ SCHÉMA ZPĚTNÝCH VAZEB SERVOMECHANISMU [16]	32
OBR. 14) UNIPOLÁRNÍ A BIPOLÁRNÍ ZAPOJENÍ MOTORU [20]	33
OBR. 15) SERVOMOTOR [23]	35
OBR. 16) KROKOVÝ MOTOR [26]	35
OBR. 17) SCHÉMA UNIPOLÁRNÍHO KROKOVÉHO MOTORU [24]	36
OBR. 18) SCHÉMA BIPOLÁRNÍHO KROKOVÉHO MOTORU [24]	36
OBR. 19) KONSTRUKCE DVOUFÁZOVÉHO HYBRIDNÍHO KM [24]	36
OBR. 20) SCHÉMA NÁVRHOVÉ VARIANTY A	40
OBR. 21) PRŮMYSLOVÝ SPÍNANÝ ZDROJ [26]	40
OBR. 22) PLATFORMA MACH 3 [27]	41
OBR. 23) MICROCON SX23-2727 [28]	41
OBR. 24) DRIVER PRO 2F KROKOVÉ MOTORY M542 [26]	41
OBR. 25) SADA DC VŘETENE PRO CNC 500W [27]	41
OBR. 26) SCHÉMA NÁVRHOVÉ VARIANTY B	42
OBR. 27) UKÁZKA PRŮMYSLOVÉHO PLC BUS-COUPLER [30]	42
OBR. 28) ASYNCHRONNÍ VŘETENO S FREKVENČNÍM MĚNIČEM [29]	43
OBR. 29) SCHÉMA NÁVRHOVÉ VARIANTY C	43
OBR. 30) SINUMERIK 808D [33]	44
OBR. 31) SERVOMOTOR [26]	44
OBR. 32) SERVOZESILOVAČ [26]	44
OBR. 33) ZDROJ NAPĚTÍ SIEMENS LOGO!POWER [34]	47
OBR. 34) SCHÉMA ZDROJE STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ	47
OBR. 35) TRANSFORMÁTOR 230V => 50V	47
OBR. 36) USMĚRŇOVAČ KBPC1006 [35]	48
OBR. 37) ELEKTROLYTICKÝ KONDENZÁTOR SAMWHA 10000μF; 63VDC [36]	48
OBR. 38) SPOUŠTĚCÍ OMEZOVAČ PROUDU	48
OBR. 39) ZDROJ NAPÁJENÍ - TRIO-PS/1AC/24DC/20 [37]	48
OBR. 40) VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY JISTIČŮ [38]	49
OBR. 41) ZEN-L1121 [39]	50

OBR. 42) ZAPOJENÍ RELÉ FINDER 34.51.7.024.0010 A JEHO ROZMĚRY [40]	50
OBR. 43) ELEKTROMAGNETICKÉ RELÉ FINDER 34.51.7.024.0010 [40]	51
OBR. 44) BUS COUPLER BK9100 [30]	51
OBR. 45) KONCOVÝ TERMINÁL KL9010 [30]	51
OBR. 46) DIGITÁLNÍ VSTUPNÍ TERMINÁL KL1408 [30]	52
OBR. 47) DIGITÁLNÍ VÝSTUPNÍ TERMINÁL KL2408 [30]	52
OBR. 48) DRIVER KROKOVÝCH MOTORŮ KL2541 [30]	53
OBR. 49) ANALOGOVÝ VÝSTUPNÍ TERMINÁL KL4002 [30]	53
OBR. 50) JOYSTICK JC 400 [43]	54
OBR. 51) KROKOVÝ MOTOR SX23-2727 [28]	55
OBR. 52) MODEL ENKODÉRU E6B2-CWZ6C [32]	56
OBR. 53) VÝSTUPNÍ SIGNÁLY Z ENKODÉRU [32]	56
OBR. 54) FREKVENČNÍ MĚNIČ FC-301 [43]	57
OBR. 55) SCHÉMA ZAPOJENÍ FREKVENČNÍHO MĚNIČE FC-301 [42]	57
OBR. 56) VŘETENO ATAS FT4C52R [45]	58
OBR. 57) SCHÉMA VŘETENE ATAS FT4C52R [44]	58
OBR. 58) STABILIZAČNÍ KONDENZÁTORY NA DPS	59
OBR. 59) DRŽÁK TRANSFORMÁTORU	59
OBR. 60) SPOJKA MOTORU	59
OBR. 61) VÝSTUP ROZVADĚČE	59
OBR. 62) DETAIL PLOŠNÉHO SPOJE KARTY BECKHOFF KL2541	60
OBR. 63) EL. SCHÉMA ZAPOJENÍ KONDENZÁTORŮ KARTY KL2541	61
OBR. 64) ROZLOŽENÍ ROZVADĚČE	61
OBR. 65) ELEKTRICKÉ SCHÉMA NAPÁJENÍ	62
OBR. 66) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ KARTY BECKHOFF KL1408	63
OBR. 67) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ KARTY BECKHOFF KL2408	63
OBR. 68) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ KARTY BECKHOFF KL4002	63
OBR. 69) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ KARET BECKHOFF KL2541	64
OBR. 70) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ FREKVENČNÍHO VŘETENE	65
OBR. 71) ELEKTRICKÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ JOYSTICKU	65
OBR. 72) USPOŘÁDÁNÍ PLC BECKHOFF	66
OBR. 73) NASTAVENÉ HLAVNÍ PARAMETRY KARTY KL2541	67
OBR. 74) UKÁZKA SPOJENÍ KROKOVÉHO MOTORU S ENKODÉREM	69
OBR. 75) VIZUALIZACE PROGRAMU (HLAVNÍ PANEL)	70
OBR. 76) OKNO VIZUALIZACE CNC STROJE	70

OBR. 77) OKNO DÁLKOVÉHO OVLÁDÁNÍ	71
OBR. 78) OKNO POSUNUTÍ SOUŘADNIC	71
OBR. 79) OKNO PŘEJEZDU DO ŽÁDANÉ POZICE.....	71
OBR. 80) OKNO REFEROVÁNÍ OS	72
OBR. 81) OKNO MANUÁLNÍHO POHYBU	72
OBR. 82) OKNO ZVOLENÉHO ZPŮSOBU MANUÁLNÍHO POHYBU	72
OBR. 83) OKNO S INFO. O NÁSTROJI.....	73
OBR. 84) OKNO NAPÁJENÍ POHONŮ	73
OBR. 85) OKNO MANUÁLNÍHO OVLÁDÁNÍ VŘETENE	73
OBR. 86) OKNO OVLÁDÁNÍ NC PROGRAMU	74

12 SEZNAM PŘÍLOH

- PLC program (CNC_home)
- Nastavení frekvenčního měniče (FC_301___Atas_FT4C52R)
- Fotografie řešení

Elektrická schémata:

- Kusovník 1/8
- Napájecí část 2/8
- Řízení 3/8
- Osa X 4/8
- Osa Y 5/8
- Osa Z 6/8
- Vřeteno 7/8
- Joystick 8/8

PŘÍLOHY

